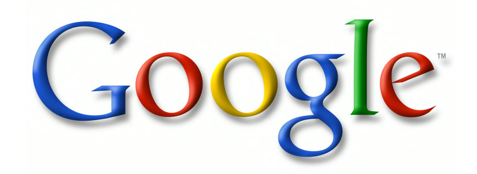
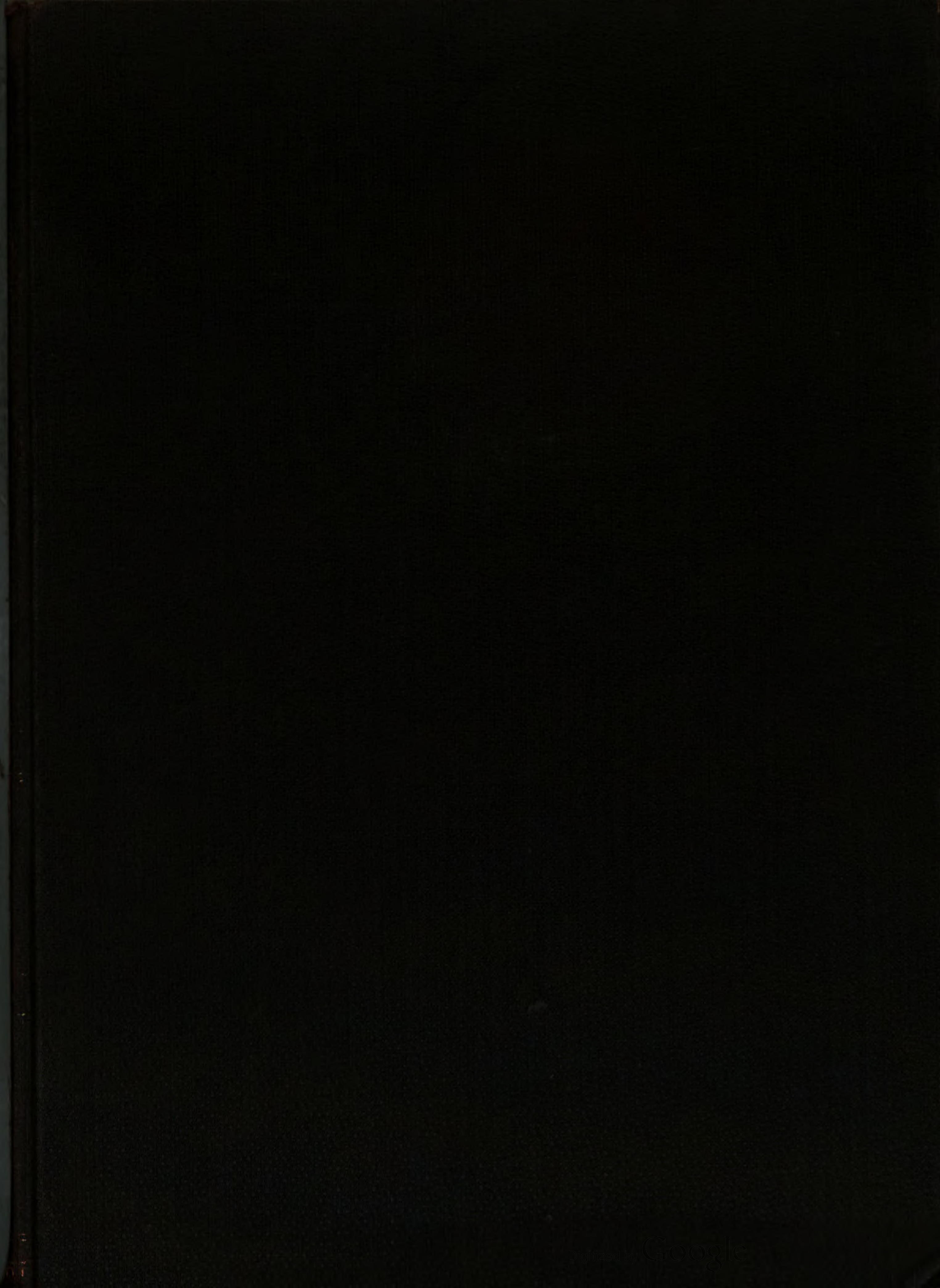







Digitized by Google

Luftfahrt und Wissenschaft

In freier Folge herausgegeben
von
Joseph Sticker

Heft 1

Luftfahrtrecht

Von
Josef Kohler



Berlin
Verlag von Julius Springer
1912

Luftfahrtrecht

Von

Professor **Josef Kohler**



Berlin
Verlag von Julius Springer
1912

Stiftung des Kaiserlichen Aero-Clubs, Berlin.

Zur Einführung.

Mit früher nie gekannter Raschheit vollzieht sich in unseren Tagen der Entwicklungsgang neuartiger technischer Errungenschaften. Wenn dieses Tempo bereits bei den Problemen der elektrischen Lichtleitung und Kraftumformung, bei der Ausbildung des Fernsprechers und der Funkentelegraphie ein immer mehr beschleunigtes wurde, so gestaltete sich der Fortschritt zu einem geradezu stürmischen bei dem jüngsten, in mancher Hinsicht merkwürdigsten Kinde der schaffenden Technik, so recht dem eigentlichen Schoßkinde neuerer Zeit: der Luftfahrt. Mit angehaltenem Atem sieht der moderne Mensch auf diesem Gebiete Wunder zu Taten, Taten zu Alltäglichkeiten werden. So mußte alsbald auch ein überaus starkes Bedürfnis nach Belehrung über die Möglichkeiten und Bedingungen solch' einzigartiger Entwicklung, über Gegenwärtiges und künftig zu Erhoffendes sich überall fühlbar machen.

Solchem allgemeinen Bedürfnis nachzukommen, beeilen sich in allen Kulturländern, nicht am wenigsten sicherlich in Deutschland, vielfältige Veröffentlichungen wissenschaftlicher, technischer und populärer Natur, in Form von Buch und Abhandlung, als Zeitschrift und zwanglos erscheinender Beitrag. Zu diesen letzteren gesellt sich nunmehr in „Luftfahrt und Wissenschaft" ein neues Unternehmen; die Herausgeber hoffen, daß es sich auch als n e u a r t i g erweisen werde.

Wir wollen weder über den täglichen Fortschritt auf dem weiten Gebiete der Luftfahrt berichten, noch für Systeme, Schulen oder Ansichten die Lanze brechen, noch agitatorisch wirken. Auch sollen nicht in diesen Blättern Ergebnisse niedergelegt werden von Forschungen, bei welchen die Luftfahrt zufälliges Mittel zum Zwecke ist, die sich aber wesentlich mit dem Studium der Physik oder der Chemie der Atmosphäre befassen. Den Herausgebern schwebte in erster Linie der Gedanke vor, daß es an der Zeit sei, heute, wo die Aeronautik — im weitesten Sinne — Berührungspunkte mit nahezu allen Wissenszweigen gewonnen hat, sich auf diesen Grenzgebieten umzusehen, und mindestens vorläufig durch berufene Federn festzustellen, was die älteren Schwestern zu dem Eindringling zu sagen haben, worin sie ihm zu Danke verpflichtet sind, wo sie im Gegenteile Dank beanspruchen können dafür, daß sie sich der neuen und eigenartigen Schwester zur Verfügung gestellt haben. Neben dem ganzen Heere der technischen und physikalischen Wissenschaften sollen Jurisprudenz und Physiologie, Astronomie und Lichtbildkunst, die Erdkunde im allgemeinen, wie im besonderen Kolonial- und Polarforschung zu Worte kommen, und noch manch' anderer Wissenszweig. Außerdem aber

hoffen die Herausgeber der Luftfahrt und der Wissenschaft zu dienen, wenn sie die Veröffentlichung von speziellen Untersuchungen ermöglichen, welche in Zeitschriften oft schon ihres Umfanges wegen gar nicht, oder zum Nachteile der Sache nur in stark gekürzter Form erscheinen können.

Gediegene Einzeldarstellungen dieser Art, von ernsten Forschern und Sachkennern herrührend, deren Leistungen nicht entschädigt werden sollen in Abhängigkeit von geschäftlichen Überlegungen, sondern durch hochherzige Sonderstifter der einzelnen Hefte, müßten sich — so hoffen wenigstens die Unterzeichneten, die an dem Unternehmen ein ausschließlich ideelles Interesse haben — neben all' dem Guten und Brauchbaren, das die Jetztzeit auf unserem Gebiete bereits bringt, immerhin als wertvoll erweisen. — A. Berson.

Herausgeber und Schriftleitung.

Ein Verzeichnis der nächstfolgenden Hefte findet sich am Schluß.

Einleitung.

§ 1.

Das Luftfahrtrecht, d. h. die Zusammenstellung der Normen, welche die Luftfahrzeuge und ihren Verkehr beherrschen, ist kein einheitlicher Rechtszweig, vielmehr handelt es sich um eine Reihe von Rechtsgebieten, welche durch die Probleme der Luftfahrt berührt werden. Man könnte es darum für allein wissenschaftlich erachten, in den entsprechenden Rechtsmaterien einfach die bei der Luftfahrt entstehenden Probleme nebenbei zu besprechen. Jedoch hängen diese Probleme wieder so sehr miteinander zusammen, daß es ein Gebot der Wissenschaft ist, sie auch in der Darstellung zusammenzufügen, allerdings mit ständiger Beziehung zu den Wissensgebieten, in welche sie einschlagen; also einen Querschnitt durch die Wissenschaften zu machen und überall die Luftfahrtsätze als Ausläufer allgemeiner wissenschaftlicher Lehren darzustellen.

Dies ist noch aus einem besonderen Grunde von größter Bedeutung. Eine große Reihe von Problemen läßt sich heutzutage noch nicht in einer Weise lösen, daß die Lösung als geltendes Recht erscheinen kann, sofern man unter geltendem Recht dasjenige versteht, was in Gesetz oder Praxis zum bestimmten Ausdruck gekommen ist; in vielen Beziehungen muß hier die Wissenschaft schöpferisch vorgehen und diejenige Rolle spielen, welche dem Richter zukommt, wenn er Fragen zu entscheiden hat, die das geltende Recht offen läßt. Die Wissenschaft hat dann eine gesetzgeberische Gewalt, welche jeder kennt, der sich mit völkerrechtlichen Fragen und Aufgaben beschäftigt hat.

Dies erheischt vor allem eine zusammenfassende Darstellung, welche Unbekanntes an Bekanntes, Unsicheres an Sicheres anreiht und der Aufgabe und den Zwecken des Ganzen die teleologische Entscheidung zu entnehmen sucht. Die Frage des privatrechtlichen Luftraumeigentums, der staatsrechtlichen Luftraumherrschaft, die Frage der Entschädigungspflicht, die Frage der Neutralität, die Zulässigkeit völkerrechtlicher Einwirkungen, die verschiedenen Fragen des internationalen Zivil- und Prozeßrechtes, alle haben gemeinsame Berührungspunkte und lassen sich nur von einem Gesichtspunkte aus richtig lösen, von dem aus man das ganze Gebiet überschaut.

Damit ist das Luftfahrtrecht als einheitlicher Gegenstand wissenschaftlicher Darstellung gerechtfertigt.

Die bisherige Literatur ist nicht unbeträchtlich; in Frankreich hat sich eine besondere Regsamkeit entwickelt, und man hat eine eigene Zeitschrift gegründet, Revue juridique internationale de la locomotion aérienne, welche im 2. Jahrgang steht. Fauchille vor allem hat durch seinen Gesetzesvorschlag und

seine Begründung die Sache wesentlich gefördert; vgl. auch Nys, Revue de droit intern. et législ. comp. IV p. 501 f.

In Deutschland sind namentlich folgende Schriften zu verzeichnen: Meili, Das Luftschiff und die Rechtswissenschaft, Zitelmann, Luftschiffahrtsrecht, Meurer, Luftschiffahrtsrecht, Bodenheim, Das Privatrecht der Luftschiffahrt, Warschauer, Luftrecht, Alex. Meyer, Erschließung des Luftraumes, Grünwald, das Luftschiff in völkerrechtlicher und strafrechtlicher Beziehung, Würth, Luftzollrecht, Sperl, Luftschiffahrt vom Standpunkte der Rechtswissenschaft[1]); dazu erwähne ich meinen Aufsatz: Die Luftschiffahrt im Völkerrecht in Zeitschr. f. Völker- und Bundesstaatsrecht IV, S. 588 f.

In Italien ist eine gründliche Darstellung erschienen, Catellani, Il Diritto Aëreo und in England eine lehrreiche Schrift von Hazeltine, The law of the air. Dazu treten die amerikanischen Aufsätze von Baldwin, Kenny, Kuhn.

Von Bedeutung waren, abgesehen von Pariser Kongressen[2]), der Kongreß von Verona 1910 und die Madrider Verhandlung des Instituts für Internationales Recht 1911; ferner der Luftfahrertage in Rom 25.—27. November 1911.

---

[1]) Weitere Literatur bei Sperl in der Revue générale de droit intern. publ. XVIII p. 473, worauf verwiesen wird, da eine erschöpfende Aufzählung hier nicht beabsichtigt ist.

[2]) Premier congrès du comité juridique international de l'aviation, 31. Mai und 1. Juni 1911, Locom. aér. II p. 283 f.

I. Privatrecht.

1. Personen und Sachenrecht.

§ 2.

Eine besondere Regelung bedarf das Privatrecht der Luftfahrt nur nach gewissen Seiten hin; denn meistens handelt es sich um Fragen, die auch in anderen Gebieten auftreten und die nur eben auch die Luftfahrt betreffen, sofern sie in die eine oder andere Sphäre des Rechtes eingreift.

So was die Verschollenheit angeht: unser Recht kennt außer der gewöhnlichen Verschollenheit eine Kriegs-, eine See- und eine Gefahrverschollenheit; letztere (§ 17 BGB.) kommt hier in Betracht. Wer in Lebensgefahr geraten und seitdem verschollen ist, kann für tot erklärt werden; doch ist eine Probefrist von 3 Jahre abzuwarten. Als Moment der Lebensgefahr aber kann nicht der betrachtet werden, in welchem der Luftfahrer aufsteigt, denn unter Lebensgefahr im Sinne des § 17 ist eine präsente, nicht eine eventuelle Lebensgefahr zu verstehen. Es kann daher nur der Zeitpunkt maßgebend sein, in welchem es sicher ist, daß das Luftfahrzeug ein die Person gefährdendes Unheil erlitten hat, und dem steht es gleich, wenn das Luftfahrzeug so lange nichts von sich hören läßt, daß ein derartiges Unheil ohne weiteres anzunehmen ist, was nach den Umständen des Falles beurteilt werden muß[1]). Ebenso können Fragen auftauchen über den unlauteren Wettbewerb, die etwaige Anschwärzung (Disqualifikation)[2]), und die Patentverletzung.

Die Luftfahrzeuge gehören zu den beweglichen Sachen, sie werden daher im dinglichen Rechte nach den Grundsätzen der beweglichen Sachen behandelt; so was die Übertragungen des Eigentums betrifft durch Besitzübergabe, durch Übergabe brevi manu, durch Konstitut und eventuell durch bloßen Vertrag, § 931 f. BGB. Es kann daher beispielsweise auch ein Fahrzeug, das verloren gegangen ist und vielleicht später auftaucht, durch bloßen Vertrag, oder, wie das BGB. sagt, durch Übertragung des Herausgabeanspruchs zu Eigentum übertragen werden; und wird ein etwa im Mietbesitz eines anderen befindliches Fahrzeug übereignet, so hat der Erwerber den Mietsvertrag auszuhalten, § 986 BGB. Das Pfandrecht daran ist ebenfalls ein bewegliches Pfand; es wird bestellt durch Einigung und Übertragung, sei es nun an den Pfandgläubiger oder an einen Treuhänder. Alle Bestimmungen, welche von der Übertragung der Pfandforderung und der damit verbundenen Übertragung des Pfandrechtes handeln, gelten auch hier; ebenso die Bestimmungen über die Verwertung des Pfandes durch Verkauf, § 1234 f. BGB. Die Pfändung geschieht durch Signierung.

---

[1]) Lehrbuch des bürgerl. Rechts I, S. 291.

[2]) Seinetrib. 14. Dez. 1911 (Sportnachricht).

Angezeigt wäre es allerdings, für die Übertragung und Verpfändung die bei Grundstücken und Seeschiffen üblichen Publikationsmaßregeln zu wahren; insbesondere wäre es empfehlenswert das Pfandrecht nach § 1260 f. BGB. zu gestalten und namentlich zu bestimmen, daß die Verwertung nur kraft vollstreckbaren Titels nach den Grundsätzen der Zwangsvollstreckung geschehen könnte; und auch für die Zwangsversteigerung wäre ein Verfahren nach Rechtsähnlichkeit des § 162 Zwangs-Verst.-Ges. angemessen.

Der Grundsatz, daß ein segelfertiges Schiff nicht der Zwangsvollstreckung unterliegt (§ 482 BGB.), ist auch auf Luftschiffe anwendbar.

Besondere Rechtsverhältnisse können für die Aufstieg- und Abstiegstätten eintreten. Hier kann natürlich ein Eigentum der Luftschiffunternehmung bestehen, welches keinen anderen als den gewöhnlichen Grundsätzen unterliegt; auch eine persönliche Dienstbarkeit, und von ihr gilt, was ich längst ausgeführt habe, daß es ein Unding ist, persönliche Dienstbarkeiten stets auf das Leben einer Person zu stellen. Handelt es sich allerdings um eine juristische Person, z. B. um eine Aktiengesellschaft, dann ist die Befugnis nicht von den Fährnissen eines menschlichen Lebens abhängig; und wenn die Gesellschaft Umwandlungen erfährt, z. B. die Aktiengesellschaft in eine Gesellschaft mit beschränkter Haftung übergeht, oder zwei Aktiengesellschaften sich fusionieren, dann bleibt das Recht bestehen, weil die Persönlichkeit nicht untergeht, sondern in einer höheren Einheit fortlebt[1]). Ist aber der Unternehmer eine physische Person, so wäre ein solches Recht gefährdet, wenn es nur bis zu ihrem Tode bestünde, und daher muß man, wie bereits anderweitig hervorgehoben, die gesetzliche Bestimmung, wenn auch mit einer gewissen Gewaltsamkeit, dahin ausdeuten, daß die persönliche Dienstbarkeit an dem Unternehmen haftet, mit ihm bleibt und mit ihm übergeht[2]).

§ 3.

Besonders eigenartig aber ist das Luftrecht des Grundeigentümers; denn wenn auch dieses auf dem Grundsatze des Eigentums beruht, so treten doch durch die Luftfahrt so eigentümliche Verwicklungen ein, daß es angemessen ist, es als Sonderrecht zu behandeln.

Das Eigentum an Grund und Boden und die dem Eigentum entsprechenden Besitzrechte, wie der Nießbrauch oder das Erbbaurecht, erstrecken sich in die Luftsäule hinauf, und der Eigentümer braucht im allgemeinen nur diejenigen Einwirkungen in den Luftraum zu gestatten, die entweder aus dem üblichen Nachbarverkehr entspringen oder für deren Verbot wegen der großen Höhe kein Interesse mehr spricht. Ohne diesen Grundsatz ist nicht auszukommen: Luft und Licht, ja auch der freie Himmel gehören zu den Lebensbedingungen des Menschen; Dinge, die im Luftraum geschehen, können den Boden unbewohnbar machen, oder jedenfalls die Benutzung im höchsten Grade beeinträchtigen.

Man hat hierbei allerdings auf die Unmöglichkeit verwiesen, die Grenzen

---

[1]) Deutsche Juristenzeitung XVI, S. 1261.

[2]) Rheinische Zeitschr. III, S. 420 f.

zweier Grundstücke im Luftraume genau feststellen, solange keine besonderen Vorrichtungen für die Markierung der Vertikallinie vorhanden sind; indes diese Schwierigkeit hindert die grundsätzliche Richtigkeit nicht, ebensowenig wie bei den Gewässern, wo eine solche Grenzscheidung im einzelnen oft kaum durchführbar ist. Das Recht ist für das Leben da und nicht für die Mathematik, und das Leben macht die Grenze genügend bemerklich, wenn auch die Geometrie gebricht. Außerdem ist anzunehmen, daß die Zukunft Mittel der Feststellung finden kann und finden wird.

Auf der anderen Seite drängen allerdings unsere modernen Bedürfnisse dahin, den Luftraum in der einen oder anderen Weise frei zu verwerten, und hier hat man sich auf die obige Beschränkung bezogen und ausgesprochen: je höher der Luftraum vom Boden entfernt ist, umso weniger wird die Benutzung ein Interesse des Eigentümers verletzen.

Der Grundsatz, daß das Eigentum nicht mehr durchgreift, wo wegen Entfernung vom Boden das Interesse gebricht, findet sich im Deutschen und im Schweizer Gesetzbuch, im Deutschen § 905 und im Schweizer § 667. Schon früher bestand eine ähnliche Bestimmung im Graubündener Gesetzbuch § 195.

Das Deutsche BGB. § 905 lautet: Das Recht des Eigentümers eines Grundstücks erstreckt sich auf den Raum über der Oberfläche und auf den Erdkörper unter der Oberfläche. Der Eigentümer kann jedoch Einwirkungen nicht verbieten, die in solcher Höhe oder Tiefe vorgenommen werden, daß er an der Ausschließung kein Interesse hat.

Das Schweizer ZivilGesB. § 667 besagt: Das Eigentum an Grund und Boden erstreckt sich nach oben und unten auf den Luftraum und das Erdreich, soweit für die Ausübung des Eigentums ein Interesse besteht.

Die deutsche Fassung ist vorzuziehen; denn hier ist folgendes zum Ausdruck gebracht: Nicht nur theoretisch sondern auch praktisch reicht die Eigentumssphäre in die höchste Höhe hinan; das Eigentum ist nur damit belastet, daß Einwirkungen, welche den Eigentümer nicht berühren, seinem Verbote nicht mehr unterliegen; dagegen darf man sich der Auffassung nicht hingeben, als ob in einer bestimmten Höhe, von welcher aus erfahrungsgemäß Einwirkungen den Erdboden nicht mehr berühren, das Eigentum überhaupt aufhöre zu existieren; denn wo heute keine schädigenden Einwirkungen mehr möglich sind, sind sie morgen möglich, und Regionen, die früher ohne jede Verbindung mit dem Erdboden waren, können jetzt durch Vermittlung des Luftfahrzeugs mit ihm verbunden werden. Auch ist es unrichtig, anzunehmen, daß überhaupt Einwirkungen von höchsten Höhen aus den Eigentümer nicht mehr verletzen können; denn nicht nur kann das Auswerfen schwerer, fester Gegenstände verderblich werden, sondern ein Luftfahrzeug kann herabgerissen werden und Schaden anrichten. Man muß vielmehr umgekehrt sagen: diejenigen Betätigungen, welche den Eigentümer nicht beeinträchtigen, sind statthafte Lizenzen: das Eigentum besteht, aber es muß sich gewisse Einwirkungen Dritter gefallen lassen; ob diese aber unschuldig sind oder nicht, ist nur im besonderen Fall zu entscheiden: eine bestimmte Höhe, welche den Dritten absolut immunisiert, gibt es nicht.

Die richtige Fassung geht also nicht dahin, daß etwa eine horizontale Grenze in bestimmter Höhe gezogen wird, von welcher aus die Berechtigung des Eigentümers aufhört. Das wäre ja auch ganz irrationell; man kann nicht wissen, mit welchen Mitteln ein Grundeigentümer künftig sich in die Höhe erheben kann, nicht nur durch Türme wie den Eifelturm und Funkentelegraphentürme, sondern auch durch daran befestigte Fesselballons u. a. Man kann auch nicht wissen, mit welchen Mitteln man künftig von oben nach unten zu wirken vermag. Auch in dieser Beziehung muß man mit den unbegrenzten Möglichkeiten der Zukunft rechnen. Vielmehr geht das Eigentum so weit als möglich, und nur gewisse Betätigungen Dritter müssen geduldet werden, sofern sie die Interessen des Grundeigentums nicht stören, oder auch kraft eines Sonderrechts, wenn die Störung durch überwiegende öffentliche Interessen gerechtfertigt ist.

Von besonderer Bedeutung für die Geschichte dieser Theorie war im englischen Recht eine Entscheidung des Lord Ellenborough von 1815. Während Coke und Blakstone[1]) davon ausgehen, daß das Eigentum bis zum Himmel hinauf reicht, macht Lord Ellenborough einige Beschränkungen und sagt folgendes:

„I do not think it is a trespass to interfere with the column of air superincumbent on the close ...... I am by no means prepared to say that firing across a field in vacuo, not part of the contents touching it, amounts to a „clausum fregit“[2]). Nay, if this board overhanging the plaintiffs garden be a trespass, it would follow that an aeronaut is liable to an action quare clausum fregit at the suit of the occupier of every field over which his balloon passes in the course of his voyage. Whether the action may be maintained would depend upon the length of time for which the superincumbent air is invaded. If any damage arises from the object which overhangs the close, the remedy is by an action on the case.“

So hat denn auch die englische Entscheidung Clifton v. Bury 4 Times Law Review 8 (Hazeltine p. 68) in einem besonderen Falle erklärt, daß das Schießen einer Kanonenkugel bei einer Höhe von 75 Fuß über dem Gelände nicht mehr ein trespass sei.

Im übrigen hat sich die Frage des Luftrechts neuerdings namentlich im Telegraphen- und im Jagdwesen geregt.

Man hat vielfach ausgesprochen, daß das Überspannen mit elektrischen Drähten regelmäßig eine Beeinträchtigung des Eigentums ist[3]). Vergl. Trib. Tours 19. I. 1887, Dalloz 1900 II. p. 361 (Note):

Le fait par la société d'avoir placé audessus de la propriété des demandeurs des fils destinés à soutenir sa cheminée et un câble conducteur de la lumière électrique, quelle que soit leur élévation audessus du sol, constitue un trouble à la propriété.

Trib. Compiègne 19. XII. 1888, Dalloz 1900 II, p. 361 (Note):

L'espace aérien, c'est-à dire la partie utilisable existant au-dessus du sol ne peut, comme étant compris dans la propriété du sol, être utilisé sans l'autorisation du propriétaire.

---

[1]) Blackstone II 2, 18: Land hath also, in its legal signification, an indefinite extent, upwards as well as downwards.

[2]) Vgl. Blackstone III 12, 209: Every unwarrantable entry on another's soil the law entitles a trespass by breaking his close; the words of the writ of trespass commanding the defendant to shew cause, *quare clausum querentis fregit* . . .

[3]) Die Hinweise auf diese und andere Entscheidungen sind (ebenso wie andere Verweisungen den lehrreichen Arbeiten von Lycklama in Locom. aérienne I p. 274 f. zu verdanken.

So Friedensgericht Lille 15. XI. 1899, Dalloz 1900 II, p. 631:

Il est indéniable que l'existence de fils et surtout de câbles électriques posés au-dessus d'un immeuble n'est pas sans gêne et sans inconvénients pour le possesseur du fonds et que la rupture toujours possible d'un câble peut y occasionner des dégâts; qu'il suffit d'un préjudice éventuel pour justifier l'action possessoire en complainte.

So Trib. Bordeaux 27. XI. 1908, Locom aér. I, p. 84:

Le législateur a défini avec précision les cas, dans lesquels la règle de l'art. 552 reçoit actuellement exception, mais que les exceptions étant de droit étroit elles ne sauraient être étendues au profit d'autres que ceux qui ont été visés dans la loi (es handelte sich um das Gesetz vom 15. 6. 1906 — vgl. unten S. 8).

Auch in England wurde in Bezug auf die Telegraphendrähte der Satz ausgesprochen, daß das Recht des Grundeigentümers in die unbestimmte Höhe reicht und daß das Anbringen von Drähten in irgend einer Höhe Verletzung des Eigentums sei, so *Wandsworth Board of Works v. The United Telephon Co.*, *Finchley Electric Lightning Co. v. The Urban District Council* (bei Hazeltine p. 64).

Für das J a g d r e c h t kommt die gleiche Frage in Betracht. Der auf seinem Jagdgebiete Stehende darf nicht in das Jagdgebiet des Anderen schießen; dieses Jagdgebiet erstreckt sich auch auf den Luftraum und die dort befindlichen Vögel.

Die Ansicht ist in der französischen Praxis allerdings nicht unbestritten, aber vorwiegend.

Trib. Douai 13. XII. 1879, Dalloz 1880, III, p. 103[1]):

Il faut .... se demander, si l'air qui nous environne, si l'espace qu'on appelle le domaine des oiseaux peut être considéré comme étant la propriété exclusive du propriétaire du sol pour la partie de cet espace qui correspond à l'étendue du terrain dont il est propriétaire; que la négative selon ce qu'enseigne d'ailleurs la doctrine ne paraît pas pouvoir faire de doute.

Appellhof Amiens 19. II. 1896, Dalloz 1896, II, p. 464 (auch in Locom. aër. I, p. 51):

Le fait de tirer d'un endroit où on a le droit de chasse sur un gibier qui se trouve audessus d'un endroit où on n'a pas le droit de chasse, constitue incontestablement le délit de chasse sur le terrain d'autrui, le droit de propriété s'étendant aussi bien audessus du sol qu'à sa surface.

So auch der Appellhof Paris 18. IV. 1864, Dalloz 1880, III, p. 103 (Note).

Ferner Appellhof Lyon 9. IV. 1903, Dalloz 1906, II, p. 178:

Au moment où il a tiré ses deux coups de fusil les canards se trouvaient encore audessus de la Saône, d'où ils venaient de se lever [2]).

Auch bei uns nimmt man an, daß das Schießen vom eigenen Jagdrevier in das fremde Gebiet Verletzung des Jagdrechtes sei; daher entschied auch das Preuß. Obertrib. 16. VI. 1869 umgekehrt, daß das Schießen von fremdem Jagdgebiet in das eigene kein Jagdvergehen sei, höchstens liege das Delikt des unbefugten Betretens des fremden Jagdgebietes in Jagdrüstung vor[3]). Es handelte sich allerdings

---

[1]) Bestätigt vom Appelh. Douai 11. Februar 1880. Doch ist der Appelhof Douai am 8. Juni 1887 Dall. 1896, II p. 469. von dieser Ansicht zurückgekommen.

[2]) Vgl. die Zitate ebenda Note 1. Man darf in Frankreich nur mit Staatsgenehmigung über öffentlichen Flüssen schießen.

[3]) Goltdammer Archiv XVII S. 663. Hierzu Dickel in Loreys Handb. der Forstwissenschaft S. 285.



nicht um einen im Luftraum befindlichen Vogel, und die Entscheidung hat darum keine volle Schlußkraft.

§ 4.

Von Lizenzen, welche das Lufteigentum beschränken, war oben die Rede.

Nach zwei Richtungen hin hat die Gesetzgebung sich genötigt gesehen besondere Lizenzen zu geben, nämlich für elektrische Stromleitungen, welche dem öffentlichen Nutzen dienen, und für die Funkentelegraphie.

Man vergleiche: Deutsches Telegraphenwegegesetz vom 18. XII. 1899.

§ 12 Die Telegraphenverwaltung [1]) ist befugt, Telegraphenlinien durch den Luftraum über Grundstücke, die nicht Verkehrswege im Sinne dieses Gesetzes sind, zu führen, soweit nicht dadurch die Benutzung des Grundstücks nach den zur Zeit der Herstellung der Anlage bestehenden Verhältnissen wesentlich beeinträchtigt wird. Tritt später eine solche Beeinträchtigung ein, so hat die Telegraphenverwaltung auf ihre Kosten die Leitungen zu beseitigen.

Beeinträchtigungen in der Benutzung eines Grundstücks, welche ihrer Natur nach lediglich vorübergehend sind, stehen der Führung der Telegraphenlinien durch den Luftraum nicht entgegen, doch ist der entstehende Schaden zu ersetzen. Ebenso ist für Beschädigungen des Grundstücks und seines Zubehörs, die infolge der Führung der Telegraphenlinien durch den Luftraum eintreten, Ersatz zu leisten.

Die Beamten und Beauftragten der Telegraphenverwaltung, welche sich als solche ausweisen, sind befugt, zur Vornahme notwendiger Arbeiten an Telegraphenlinien, insbesondere zur Verhütung und Beseitigung von Störungen, die Grundstücke nebst den darauf befindlichen Baulichkeiten und deren Dächern, mit Ausnahme der abgeschlossenen Wohnräume, während der Tagesstunden nach vorheriger schriftlicher Ankündigung zu betreten. Der dadurch entstehende Schaden ist zu ersetzen.

Französisches Gesetz sur les distributions d'énergie, 15. juin 1906. Art. 12. § 2.

La déclaration d'utilité publique d'une distribution d'énergie confère au concessionnaire le droit de faire passer les conducteurs d'électricité au-dessus des propriétés privées [2]).

Italienisches Gesetz vom 7. Juni 1894 Nr. 232 über trasmissione a distanza delle correnti elettriche (gegen Entschädigung), Gesetz v. 15. Februar 1903 Nr. 32, Dekret v. 3. Mai 1903 Nr. 196a 4 ff. (gegen Entschädigung).

Für England galt zunächst die Telegraph Act. 1863 (26 & 27 Vict. Cap. 112).

Sec. 21. The company shall not place any work by the side of any land or building, so as to stop, hinder or interfere with ingress or egress for any purpose to or from the same, or place any work under, in, upon, over, along, or across any land or building, except with the previous consent in every case of the owner, lessee, and occupier of such land or building.

Spätere Gesetze erweiterten das Telegraphenrecht, so Gesetz von 1878 (41, 42 Vict. c. 76); ja sie gaben ein gewisses Enteignungsrecht, wobei die Railway and Canal Commissioners die Entscheidung zu geben haben, vorbehaltlich der Anrufung des Parlaments

So Gesetz von 1892 (55, 56 Vict. c. 59 a. 2).

If the Postmaster-General considers that the inhabitents of any district . . . . are debarred from the public convenience of telegraphic communication owing to the refusal or failure of any person being the occupier, lessee or owner of any land or building to

---

[1]) Mit Rücksicht auf das Telegraphenmonopol.

[2]) Früher Gesetz 28. 7. 1885 zugunsten der staatlichen Telegraphie.

consent to the construction . . . . he may apply to the Railway and Canal Commission, and that Commission if satisfied . . . . may make an Order consenting to the construction or maintenance of the work either unconditionally or subject to such pecuniary or other terms, conditions and stipulations as the Commission think just and such consent shall have effect as a consent given by the said person to the construction or maintenance of such work.

Der Beeinträchtigte kann aber in einem Monat verlangen, daß die Sache dem Parlament vorgelegt werde und dann soll der Order

shall have no effect until confirmed by Parliament.

Und in der Telegraph (Construction) Act. v. 1908 (8 Ed. 7, c. 33) heißt es:

5. — (1) Where any tree overhangs any street or public road and obstructs or interferes with the working of any telegraghic line constructed along that street or road or will obstruct or interfere with the working of any telegraphic line about to be so constructed, the Postmaster-General may give notice to the owner and to the occupier of the land on which the tree is growing, requiring the tree to be lopped so as to prevent the obstruction or interference.

(2) If within one month from the service of notice by the Postmaster-General the owner or the occupier of the land on which the tree is growing gives a counter-notice to the Postmaster-General objecting to the lopping of the tree, a difference shall be deemed to have arisen between the Postmaster-General and that owner or occupier, and sections four and five of the Telegraph Act, 1878, shall apply accordingly as if it were a difference under that Act.

(3) If on the expiration of one month after notice is given by the Postmaster-General under this section, neither the owner nor the occupier has complied with the notice, or given a counter-notice under this section, or if the authority determining a difference under this section make an order in that behalf, the Postmaster-General may himself cause the tree to be lopped, and section seven of the Telegraph Act, 1863 (which relates to compensation), shall apply to the exercise of that power by the Postmaster-General.

Der Funkentelegraphenvertrag vom 3. November 1906 geht davon aus, daß jeder Eigentümer sich das Passieren der Hertzschen Wellen gefallen lassen muß. Dies ergibt sich schon aus dem dort vorgesehenen Verhältnis zwischen den Küstenstationen und den Bordstationen und dem Anschluß an die Telegraphenleitungen des Landes. Hierbei ist aber zu bemerken, daß das Passieren der Wellen durch die Luftsphäre kaum Belästigungen mit sich führt, namentlich dann nicht, wenn die Funkentelegraphie wie bei uns monopolisiert ist, mithin die Apparate eines Privaten nicht etwa durch Einziehung dieser Wellen gestört werden können.

Einige Gesetze haben im Interesse der Industrie noch weitere Beschränkungen des Eigentümers verfügt: so das italienische Gesetz vom 13. Juni 1907 Nr. 403, welches den Eigentümer (gegen Entschädigung) verpflichtet, Kabels von funiculari aeree für Beförderung von Landprodukten und für industrielle Zwecke zu dulden[1]).

§ 5.

Hierzu tritt nun die Luftfahrt als bedeutungsvolle Neuerscheinung, welche die Benutzung der fremden Luftsäule zur unentbehrlichen Voraussetzung hat. Die Durchquerung der fremden Luftsäule verbieten, würde einfach der Luftfahrt die Möglichkeit nehmen und uns ein wichtiges Kulturgut ent-

[1]) Rheinische Zeitschr. III S. 421.



ziehen. Daß auf der anderen Seite eine erhebliche Belästigung des Eigentums möglich ist, kann nicht in Abrede gestellt werden; denn, wenn wir uns denken, daß eine Flugmaschine einen Garten, in welchem eine diskrete Belustigung statt finden soll, stundenlang umkreist, oder ein Luftschiff in kurzen Zwischenräumen immer auf dieselbe Beobachtungshöhe zurückkommt, so würde dies zu unerträglichen Zuständen führen. Und welche Belästigungen für Grundstücke durch die Nähe einer Aufstiegstelle entstehen können, darüber weiß uns eine Klage zu berichten, welche in Locom. aérienne II p. 94/95 zum Abdruck gelangt ist. Hier heißt es:

> .... que quotidiennement ses appareils évolent à toute heure du jour. et cela depuis plusieurs mois, à une très faible hauteur au-dessus des propriétés voisines, et notamment de celles des exposants. Que la circulation presque incessante des aéroplanes qui tournent en cercle au-dessus des propriétés voisines, trouble profondément la jouissance des exposants; que, par leur présence seule et le bruit des appareils qui évolent ainsi qu'il vient d'être dit à une faible distance du sol, quelquefois à moins de 5 mètres, quand même ils ne roulent pas par terre, ils effraient les animaux domestiques tels que chevaux, moutons, vaches et boeufs et rendent impossible l'exercice du droit de chasse par suite de la disparition du gibier qui s'est effrayé et dispersé. Qu'en évolant et en circulant d'une façon continue au-dessus de ses voisins, M. F. commet une violation des droits de propriété des exposants, violation qui doit être sévèrement réprimée.

Und geht das Fahrzeug so niedrig, daß die Insassen sich förmlich innerhalb eines umschlossenen Raumes befinden, man denke z. B. an die amerikanischen Roofgardens, dann kann selbst Hausfriedensbruch vorliegen.

Aber auch das in höchsten Höhen befindliche Luftfahrzeug kann Gefahren mit sich bringen durch die Notwendigkeit plötzlichen Absteigens und durch das Hinunterwerfen fester Gegenstände. Man kann deshalb durchaus nicht sagen, daß die Anwesenheit von Luftfahrzeugen in bestimmter Höhe für den Eigentümer interesselos sei. Die Bestimmung unseres § 905 trifft daher streng genommen nicht zu. Allein hier muß man zu dem weiteren Satze greifen: gewisse Störungen muß sich der Eigentümer gefallen lassen und er muß hierzu die Licenz geben, wenn ein starkes Kulturbedürfnis die Einwirkung nötig macht. Dies haben bereits obige Bestimmungen des Telegraphenrechts gelehrt. Damit ist Individualeigentum und Gesamtkultur versöhnt. Ob in gewissen Fällen eine Entschädigung angezeigt ist, muß nach den Umständen beurteilt werden.

Daß aber eine derartige Lizenz mit aller Diskretion behandelt werden muß, ist selbstverständlich. Daher gilt folgendes:

1. Das Luftfahrzeug und die Fahrer haben sich in entsprechender Höhe zu halten, da sonst durch die Beobachtung, die Luftbewegung, das Geräusch, das Auswerfen von Gegenständen Belästigung entstehen können, welche nicht durch das Kulturbedürfnis absolut geboten sind.

2. Gewisse Gebiete können der Luftfahrt ganz entzogen werden, so daß nur im Notfalle darüber hinweggeglitten werden darf. Dahin gehören insbesondere Festungswerke und alle Anstalten, deren Einrichtung im Interesse der Landesverteidigung geheim gehalten werden soll, z. B. auch Hafenanlagen usw. Soweit es sich hier um öffentliches Eigentum handelt, haben die Bestimmungen nicht nur privatrechtlichen, sondern auch polizeilichen Charakter, da die Regelung des Verkehrs in bezug auf die Grundstücke des Gemeingebrauchs der Polizei anheim-

fällt. Das gleiche gilt aber auch von Fabriken, welche der Explosionsgefahr ausgesetzt sind, und ähnlichem.

3 Für die Schüler der Luftfahrt müssen besondere Örtlichkeiten angewiesen werden, wo ihr noch ungeregelter Flug keine besonderen Gefahren für Dritte herbeiführt, natürlich zunächst auf den hierfür bestimmten Luftfahrplätzen; aber auch für umliegende Gelände sollen die nötigen Vorsichtsmaßregeln getroffen werden.

4. Die Gewerbepolizei kann solche und weitere Bestimmungen geben, von welchen später (S. 18f.) die Rede sein wird.

Allerdings kann auch von seiten des Eigentümers das eintreten, was man Neidbau nennt; so insbesondere, wenn der Nachbar Stacheldrähte oder andere Dinge anbringt, welche die Luftfahrt in der nächsten Nähe unmöglich machen. Der § 226 BGB. muß auch hier in Anwendung kommen: ein Luftfahrplatz darf nicht auf solche Weise funktionsunfähig gemacht werden, vorausgesetzt, daß alle Erfordernisse erfüllt sind, welche das Nachbarrecht billigerweise verlangt.

2. Schuldrecht.

§ 6.

Unter die Schuldverhältnisse, zu welchen das Luftfahrzeug Veranlassung gibt, gehört vor allem der Dienst- und Werkvertrag. Einmal der Dienstvertrag zwischen dem Inhaber des Luftfahrzeugs und dem Lenker und den übrigen Arbeitspersonen. Dieser Vertrag hat seinen besonderen Charakter darin, daß er ein Vertrag starken Vertrauens ist und es dem Dienstherrn stets gestattet sein muß, da sofort zu kündigen, wo sich eine Vertrauensunwürdigkeit zeigt, sei es in dem technischen Können, sei es in dem moralischen Verantwortungsgefühl. Daß jedenfalls der Dienstherr den Lenker stets entlassen kann unter Zahlung der bedungenen Vergütung, versteht sich schon nach allgemeinen Grundsätzen von selber: eine weitere Entschädigung als diese Vergütung kann er nicht beanspruchen, und insbesondere kann er nicht etwa eine Anforderung darauf bauen, daß ihm hierdurch die Gelegenheit entgeht, sich weiter zu bilden oder Ruf und Ansehen zu erwerben. Bei einem größeren Dienstpersonal wird eine Arbeitsordnung nötig werden; vielleicht auch eine Musterrolle, wie nach der Seemannsordnung § 7ff.

Eine wesentlich andere Bedeutung hat der Werkvertrag, welchen Insassen eines Luftfahrzeugs mit dem Besitzer und „Halter" dieses Fahrzeugs abschließen. Der Vertrag geht dahin, daß der Halter des Fahrzeugs den Insassen eine bestimmte oder unbestimmte Strecke befördert: der Insasse gilt als Besteller, der Luftschiffhalter als Unternehmer. Die Grundsätze sind die gewöhnlichen und brauchen hier nicht näher ausgeführt zu werden. Insbesondere braucht der Insasse nur zu zahlen, wenn die Beförderung stattfindet. Sollte aber die Beförderung teilweise erfolgen und das Fahrzeug zur Landung genötigt sein, dann müßte eine entsprechende Distanzfracht entrichtet werden. Ist allerdings nicht eine bestimmte Strecke, sondern nur eine Umfahrt bedungen, so ist die Auswahl des Weges dem Luftfahrer anheimgestellt, und er kann sich hier nach den Luftströmungen und anderen Umständen richten. Hat der Fahrgast die Reise bestellt, so ist er selbstverständlich nicht verpflichtet, sie auch auszuführen, sondern nur die entsprechende Vergütung zu ent-



richten, und davon kann er Abzüge machen, wenn an seiner statt ein anderer Teilnehmer gewonnen wird oder ohne Mühe hätte gewonnen werden können; und wenn infolge der Abbestellung das ganze Fahrzeug nicht zu fahren braucht, so müssen die Grundsätze der Fautfracht angewendet werden: die Höhe der Fautfracht ist einstweilen, solange nicht bestimmte gesetztliche oder gewohnheitsmäßige Sätze gelten, nach Billigkeit abzuschätzen.

Der Passagier aber übernimmt es nicht nur, sorgfältig mit dem Fahrzeug und seinen Innengeräten umzugehen, sondern auch, sich so zu verhalten, wie es den Bedingungen der Luftfahrt entspricht. Er muß deswegen alles, was die Luftreise gefährdet, unterlassen, und da er sich in dieser Beziehung dem technischen Befinden des sachverständigen Leiters unterwerfen muß, so versteht es sich von selber, daß er die Anweisungen des Führers zu befolgen hat, soweit sie überhaupt in der Sphäre des Vernünftigen liegen. Das gilt sowohl während der Fahrt als auch beim Auf-und Abstieg. Gewöhnlich wird deswegen von den Teilnehmern ein ausdrücklicher Revers verlangt, daß sie sich vom Beginn der Luftfahrt an vollkommen den Geboten des Lenkers fügen. Dies ist nichts Besonderes, es gilt auch für die Seeschiffahrt, wenn es sich z. B. darum handelt, daß in der Kajüte die Luken geschlossen werden sollen oder gewisse Räume des Schiffes zeitweise unzugänglich sind.

Mit Personen, welche bloß der Probe halber mitfahren oder schenkungsweise mitgenommen werden, wird ein einseitig widerruflicher unentgeltlicher Werkvertrag abgeschlossen. Auch bei einem solchen Vertrag verspricht der Fahrer eine sorgfältige Behandlung der Sache, und er haftet für alles Verschulden; doch ist in jeder Beziehung der Maßstab milder zu nehmen als bei einem eigentlich geschäftlichen Handeln, noch milder dann, wenn die Beförderten selber zum voraus erklärt haben, auf jeden Schadensersatzanspruch zu verzichten. Dies befreit allerdings weder von der Haftung für Vorsatz noch von der Fahrlässigkeitshaftung, denn auch in letzterer Beziehung ist die Beobachtung der Vorsicht ein nicht nur privates, sondern öffentliches Interesse; auch trifft die prinzipielle Herabstimmung der Haftung auf eine Haftung für grobes Verschulden nur bei der Schenkung und Leihe, nicht bei der unentgeltlichen Dienstleistung zu (BGB. 521, 599). Aber der Richter kann zu- und abgeben und muß in solchem Falle eine mildere Behandlung eintreten lassen. Daß aber auch hier die Insassen sich den Weisungen zu fügen haben, versteht sich von selbst.

Wenn zwei miteinander in der Flugmaschine fahren, wovon der eine lenkt und der andere die Karten liest oder sich auch nur passiv beteiligt, um eine Fahrt zu zweit zu ermöglichen, so ist ein Gesellschaftsverhältnis anzunehmen, bei dem beide dazu mitwirken, einen bestimmten Erfolg zu erzielen: ein Vermögenserfolg braucht dies nicht zu sein. Daß auch hier der „stille" Gesellschafter sich dem Führer vollkommen fügen muß, versteht sich von selber; denn dem Führer muß die Operationsfreiheit in vernünftigen Schranken zustehen, — wie bei dem Werkvertrag, so bei dem Gesellschaftsvertrag.

Die Haftung aber, die sonst bei dem Gesellschaftsvertrag zu einer Haftung wie in eigenen Angelegenheiten vermindert ist, muß hier zur Vollhaftung gesteigert werden, denn das öffentliche Interesse gebietet die möglichste Vorsicht — auch hier vorbehaltlich einer milderen Schätzung im einzelnen Fall.

Der Halter des Luftfahrzeugs haftet bei allen diesen Verträgen für Lenker und

Arbeitspersonen, denn es gehört zu seinen obligationsrechtlichen Leistungen, daß er die Leute befördert und alles von ihnen abwendet, was die Unversehrtheit von Personen und Habe gefährdet; es handelt sich also um Vertragserfüllung, und hier trifft § 278 BGB. vollständig zu: der Verpflichtete leistet eben nicht durch sich, sondern durch seine Leute, und ihre Leistungen sind seine Leistung.

§ 7.

Was die außerkontraktliche Haftung angeht, so ist das Verhältnis von Luftfahrzeug zu Luftfahrzeug wohl zu unterscheiden von dem Verhältnis zwischen dem Luftfahrzeug und der Erde samt allem, was die Erde berührt.

In erster Beziehung haftet der Halter des Fahrzeugs für alles Verschulden, aber auch nur für Verschulden. Und was hier die Verhältnisse zwischen dem Halter und dem Lenker und Arbeitspersonal betrifft, so wäre an sich der § 831 BGB. anwendbar, so daß der Fahrzeughalter sich dadurch entschuldigen könnte, daß er in der Auswahl und Überwachung der Personen volle Sorgfalt gewahrt habe; auch wäre die Haftung nur gegeben, soweit diese Personen innerhalb des Kreises der ihnen zukommenden Verrichtungen gehandelt haben. Doch: eine derartige Haftung genügt für gewöhnliche Lebensverhältnisse, aber sie ist für diese mächtigen Gefahren nicht ausreichend; ebenso wie man im Autogesetz, im Haftpflichtgesetz und auch noch in anderen Fällen den Herrn vollkommen für seine Leute verantwortlich macht, ohne Rücksicht auf die Sorgfalt in der Auswahl und ohne Unterschied, ob der einzelne sich im Kreise seiner Obliegenheiten gehalten hat oder nicht, in gleicher Weise muß man auch hier die Haftung ausdehnen.[1]) Für Personen aber, welche nicht in seinen Diensten stehen, haftet er nicht, sofern er die nötigen Vorkehrungen getroffen hat, um sie von schädigenden Handlungsweisen abzuhalten.

Sind beide Teile im Verschulden, dann ist wie bei dem Seezusammenstoß[2]) der Schaden entsprechend umzulegen, je nach der Größe des einen oder anderen Verschuldens. Die zu befördernden Insassen und die zur Beförderung übernommenen Waren, welche dabei zugrunde gehen, müssen natürlich vollständig vergütet werden mit entsprechender Verteilung unter die Schuldigen.

Was aber das Verhältnis zu dem Privateigentümer der untenliegenden Grundstücke und den darauf befindlichen Personen betrifft, so gilt folgendes: Eine Haftpflicht für Verschulden (Vorsatz und Fahrlässigkeit) nach § 823 BGB. genügt nicht; denn die Luftfahrzeuge treten in einen fremden Luftraum ein, und diesen Eintritt muß sich jeder mit der Haftung für alle daraus hervorgehenden Gefahren erkaufen. Nimmt man dem Eigentümer die Möglichkeit, den Eintritt zu verbieten, so muß man ihm dafür Ersatz aller Schäden gewähren. Das ist ein allgemeiner

---

[1]) Im französischen und englischen Recht versteht sich diese Haftung von selbst, C. civ. a. 1384 (die Ausnahme im letzten Absatz bezieht sich nicht auf maîtres et commettants); im englischen Recht is the employer liable for all torts committed by the party employed, provided first they were within the scope of the employment, and secondly were either unintentional, that is to say, amounted to mere acts of negligence, or, if, intentional, were intended to be done in the interest and for the benefit of the employer (Clerk and Lindsell, Law of Torts p. 69 f.).

[2]) Vgl. Brüsseler Conferenz 1910 a. 3 und 4.



juristischer Grundsatz, der sich aus dem Institut der cautio damni infecti ergibt und in § 867 und 1005 des BGB ausdrücklich ausgesprochen worden ist. Wie nach § 867, wer in das fremde Gebiet eintreten darf, um die dorthin geflogenen Sachen zurückzuholen, Ersatz für den durch seine Abholung erlittenen Schaden leisten muß, so auch der Halter des Fahrzeugs, welchem gleichfalls die gesetzliche Lizenz zusteht, die fremden Räume zu durchfliegen. Vgl. auch § 258 BGB.

Ist aber hier ein Schadenersatz begründet, so muß er nicht nur dem Eigentümer gewährt werden, sondern auch den Personen, welche sich auf diesem Eigentum aufhalten; denn wer sich auf fremdem Eigentum befindet, nimmt an dem Schutz des Eigentums teil: er hat sich in das geschützte Gebiet begeben; würde es beispielsweise durch eine gemeingefährliche Beschädigung der Sache verletzt, so könnte er den Schutz des Eigentümers anrufen.

Das gleiche muß natürlich auch gelten, wenn das Eigentum ein öffentliches Eigentum ist, wenn es sich z. B. um Straßen und Plätze handelt und wenn Personen, die sich hier befinden, durch das Luftfahrzeug verletzt werden. Damit ist von selber der Grundsatz gerechtigt: soweit durch Einwirken des Luftfahrzeugs in die Erdensphäre[1]) Schädigungen entstehen, hat der Halter des Fahrzeugs Ersatz zu leisten ohne Rücksicht auf Verschulden oder Nichtverschulden, also namentlich auch dann, wenn die Schäden durch ganz unvorhergesehene Ereignisse oder durch plötzlich hervortretende Mängel herbeigeführt werden.

Beruht die Schädigung auf Notstand, so ist gleichfalls eine Entschädigungspflicht begründet, § 904 BGB.

Die Haftung des Fahrzeughalters für den Lenker und das Arbeitspersonal ist auch hier in der obigen gesteigerten Weise (S. 13) begründet.

In der amerikanischen Praxis ist diese objektive Haftung anerkannt in der New Yorker Entscheidung Guille v. Swann, 19 Johns, 381 (bei Hazeltine p. 86). Pollock sagt hierzu:

> A man who goes up in a balloon must know that he has to come down somewhere; and that the cannot be sure of coming down in a place which he is entitled to use for that purpose, or where his descent will cause no damage and excite no objections. Guille's Liability was accordingly the same as if the balloon had been under his control and he had guided it into Swann's garden.

Also: der Aufstieg, welcher den Eintritt in fremde Luftgebiete und den Abstieg daselbst herbeiführt, macht haftbar. Vgl. Baldwin, Michigan Law Review IX. p. 21.

Auch in der französischen Praxis hilft man sich durch eine Art von praesumtio culpae, z. B. Seinetrib. 24. 1. 1906 Locomot. aérienne I p. 20:

> Cette présomption doit être considérée comme s'appliquant au propriétaire ou au pilote du ballon au cours des voyages qu'il éffectue, le pilotage d'un ballon dans l'état actuel de la science ne constituant encore qu'une expérience où l'aéronaute se trouve être le jouet des élements. Vgl. auch Friedensgericht Cambrin 26. 5. 1911 ib. II p. 267.

Ist die Beschädigung durch einen dritten nicht im Dienste Stehenden erfolgt, der z. B. einen schweren Gegenstand heruntergeworfen hat, dann haftet der Fahrzeughalter nur, wenn er nicht die erforderlich Vorsicht gewahrt, namentlich den Personen nicht die nötige Diskretion eingeschärft oder schuldhafterweise betrunkene

[1]) Aber nur durch solche Einwirkung, nicht wenn der Anblick Pferde scheuen macht, Seinetrib. 14. Dez. 1911 (Sportmitteilung).

oder wahnsinnige Leute aufgenommen hat. Im übrigen haftet dieser Dritte für sein Verschulden, und natürlich hat der Fahrzeughalter gegen ihn seinen Rückgriff.

Ist die Beschädigung durch Mitverschulden des Beschädigten herbeigeführt oder vergrößert worden, dann ist die Schadenersatzpflicht entsprechend zu mindern, § 254 BGB.

Es ließe sich fragen, ob nicht auch im Luftfahrtrecht die Haftung auf das Schiffsvermögen zu beschränken sei, wodurch die Lage des Fahrzeughalters wesentlich erleichtert würde. Indes hat sich der Gedanke bis jetzt nicht entwickelt, es wird auch nicht wohl angehen, ihn ohne weiteres von den Verhältnissen der Seeschiffahrt mit all ihren eigenartigen geschichtlichen und rationellen Zusammenhängen auf die Luftfahrt zu übertragen, am wenigsten auf Flieger und Flugmaschinen.

In allen Fällen haften Lenker und Arbeitsleute sowohl den Insassen wie Dritten gegenüber für ihr Verschulden. Der Lenker selbst ist nicht nur für die Lenkung, sondern auch dafür verantwortlich, daß er vor Beginn des Flugs den Apparat in der nötigen Weise untersucht und sich von seiner tauglichen Beschaffenheit überzeugt hat. Er ist auch dafür haftbar, daß derApparat mit den erforderlichen Geräten und Bedarfsmitteln z. B. Sauerstoff versehen und alles dies leicht zur Hand ist. Sollte die Reise auf längere Zeit beabsichtigt sein, so muß auch für den nötigen Proviant gesorgt werden. In dieser Beziehung kann auf die Rechtsähnlichkeit des Seerechtes verwiesen werden.

Die etwaige Entschädigung hat sich zu erstrecken auf die Zerstörung und auf die mit der Zerstörung verbundenen weiteren Schäden. Wenn z. B., um das gelandete Fahrzeug vom Boden wegzuschaffen, noch andere Teile des Grundstückes betreten werden müssen, oder wenn sie zu betreten sind, um größeres Unheil zu verhüten, so gehört dies mit zu dem herbeigeführten Schaden: man denke an die Ähnlichkeit von Brandschaden und Feuerslöschung. Zu weit geht es aber, wenn jene New Yorker Entscheidung Guille v. Swann (vgl. Hazeltine p. 86) angenommen hat, daß auch die Beschädigungen ersetzt werden müssen, welche durch das herbeigeströmte Publikum verursacht worden sind[1]). Warum nicht auch, wenn sich in dem Trubel Diebe und Räuber gütlich getan haben? Das Publikum kommt nur in Betracht, soweit es aus Leuten besteht, die helfen und retten wollten.

§ 8.

Es kann sich, namentlich bei Landungen, die Notwendigkeit ergeben, Einzelgegenstände herunterzuwerfen, um dadurch das Ganze zu retten. Hier muß auf der einen Seite dem Lenker gestattet sein, auch die Habe eines fremden Eigentümers zu „werfen"; andererseits muß dann der Schaden in entsprechender Weise verteilt werden, denn die Geretteten können nicht beanspruchen, durch fremde Aufopferung gerettet zu werden. Die Grundsätze der großen Havarie müssen hier eine rechtsähnliche Anwendung finden, aber mit Rücksicht darauf, daß die Luftfahrt (auch für die Zukunft) weniger dem Warenverkehr, mehr

[1]) If his descent under such circumstances ordinarily and naturally drew a crowd of people about him, either from curiosity or for the purpose of rescuing him from a perillous situation, all this he ought to have foreseen, and must be held responsible for.



dem Personenverkehr dient, und daß eine Billigkeit dafür spricht, daß, wer mit seiner Person gerettet ist, wenigstens teilweise dem aufkommen muß, der durch sein Sachopfer die Rettung bewirkt hat. Derselbe Grund, welcher für einen Rettungslohn spricht, spricht auch dafür, daß in solchen Fällen das Opfer entsprechend vergütet werde. Hier überall ist das Recht noch in der Bildung begriffen und werden sich die Einzelbestimmungen in der Praxis herausarbeiten müssen.

Auch Bergung und Hilfeleistung kommen in Betracht. Wer ein Luftfahrzeug entweder in der Luft oder auf dem Lande birgt, oder zu seiner Rettung beiträgt, kann eine entsprechende Vergütung beanspruchen; wird die Vergütung bedungen, so ist der Vertrag an sich maßgebend, er kann jedoch, wenn er während der Gefahr abgeschlossen worden ist, im Falle des Übermaßes gemindert werden. Wird der Hilfeleistende dabei verletzt, so ist ihm dann Entschädigung zu gewähren, wenn er zur Hilfeleistung herbeigerufen wurde und die Beschädigung nicht auf Umständen beruht, die außer aller Berechnung liegen, vgl. über diesen Fall Seinetrib. 10. 2. 1906 Loc. aér. I p. 20.

Vergütung muß auch geleistet werden, wenn ein niedergegangenes Fahrzeug gefunden und für seine Bergung gesorgt wird. Es ist natürlich keine privatrechtliche sondern eine polizeiliche Bestimmung, wenn es heißt, daß ein jeder Finder eines Wracks davon Anzeige zu machen hat und daß die Polizeibehörde verpflichtet ist, es aufzubewahren und vor Schädigungen zu hüten. Sache des bürgerlichen Rechts aber ist es, auch hier einen Finderlohn zu bestimmen. Die Grundsätze des Bürgerlichen Gesetzbuches allerdings über Finden einer verlorenen Sache können hier nur rechtsähnlich in Anwendung kommen; der Finderlohn wird nach den Umständen zu bestimmen sein, und es sind Verordnungen zu erlassen, wonach es der Polizeibehörde zusteht, nach Ablauf einer bestimmten Zeit das Wrack zu verwerten und den Preis zu behalten, falls nicht der Eigentümer innerhalb einer gewissen Frist (3 Jahren?) das Geld herausverlangt.

Unbemannte Ballons für wissenschaftliche Zwecke sind zwar sonst den übrigen gleich zu behandeln; aber im Interesse der wissenschaftlichen Forschung ist die Pflicht, den niedergegangenen Ballon zu wahren und zu bergen, eine besonders dringende; namentlich muß dafür gesorgt werden, daß die Instrumente und die automatischen Fixierungen unverletzt bleiben. Der Finderlohn ist hier mäßig zu berechnen.

§ 9.

Die Versicherung eines Luftschiffes ist wie die Versicherung eines Automobils als Transportversicherung zu betrachten und unterliegt den Regeln dieser [1]). Das ist namentlich wichtig für die Freiheit in der Vertragsschließung, § 187, für den Ausschluß des Verschuldungsschadens § 130, und für die Schadensberechnung, § 140, 144 Versicherungsvertragsgesetz, auch für die Befreiung des Versicherers von der behördlichen Aufsicht und Konzession, § 116 Privat-Versicherungs-Gesetz. Der Satz ist allerdings sehr bestritten; doch hierüber ist an anderer Stelle weiter zu handeln. Der Umstand, daß ein Luftfahrzeug nicht eine regelmäßige Beförderung übernimmt, schließt nicht aus, daß hier der Personen- und Warenbeförderungsgedanke überwiegt und daß die der Transportversicherung entsprechenden Rechtsideen auch hier zu-

[1]) Vgl. meine Darstellung in Dernburg, Lehrb. VI. S. 488 f.

treffen, ebenso wie sie bei der Schiffahrt auch dann gelten, wenn es sich etwa um eine Privatyacht handelt.

Der Gedanke des Abandonrechtes wird auch hier nicht abzuweisen sein; wenn ein Luftfahrzeug verschollen ist, so ist dem Versicherten die Befugnis zu gewähren, dem Versicherer alles, was etwa von dem Fahrzeug noch vorhanden sein sollte, heimzuschlagen, welcher dann dieselbe Summe zu zahlen hat, wie wenn es untergegangen wäre. Wann die Verschollenheit eintritt, ist, solange keine gesetzlichen Bestimmungen bestehen, nach den Umständen des Falles zu beurteilen. Angemessen ist es einstweilen, in Versicherungsverträgen besondere Fürsorge zu treffen.

Die Haftpflichtversicherung spielt natürlich bei dem Luftfahrzeug, ebenso wie bei dem Auto eine sehr große Rolle, und es gelten hier die Bestimmungen des Versicherungsvertragsgesetzes § 149 f., namentlich auch, was die Anzeigefrist betrifft. Man hat schon den Vorschlag gemacht, eine obligatorische Haftpflichtversicherung einzuführen und die Versicherungsanstalten, welche sich damit befassen, zu einem großen Ganzen zu vereinigen; dann hätte sich der Beschädigte einfach an diese Gesamtanstalt zu halten, welche dann wiederum gegen die Fahrer den Rückgriff nehmen müßte.

Eine derartige Behandlung der Sache hat manchen Vorzug, allerdings auch den Nachteil, daß hiernach der unvorsichtigste Fahrer versichert werden muß, wodurch die Versicherungsprämie bedeutend hinaufschnellt; indes läßt sich solches damit ausgleichen, daß man unvorsichtige Fahrer alsbald bei der Behörde anzeigt, damit ihnen die Konzession entzogen wird.

Sodann kann die Unfallversicherung in Betracht kommen, und zwar als Versicherung des Personals durch den Fahrzeughalter und als Selbstversicherung des Lenkers, § 179 fg. VersicherungsvertragsG. Auch die Gewerbeunfallversicherung kommt in Betracht, denn es handelt sich um das Halten von „anderen Fahrzeugen als Wasserfahrzeugen, welche durch elementare Kraft bewegt werden", § 537 Z. 7 Reichsversicherungsordnung v. 19. Juli 1911: darum unterliegen die in §§ 544, 545 bezeichneten Personen der Versicherungspflicht. Von Wichtigkeit ist ferner die Feuerversicherung sowohl des Fahrzeugs, als auch der Ballonhalle. Selbst das mangelhafte Erträgnis einer Flugmaschinenvorführung ist (vom englischen Lloyd) versichert worden[1]).

II. Freiwillige Gerichtsbarkeit. Gewerbe- und Verkehrspolizei.

§ 10.

Die Eintragung der Luftfahrzeuge in ein bestimmtes Register eines Ortes, der als Heimatsort gilt, ist unentbehrlich; hier erhalten sie ihre individuelle Bezeichnung, ihre Flagge; das nähere ordnet der Registerstaat[2]). Dieser erklärt auch, wie die Staatsangehörigkeit des Fahrzeugs zu bestimmen ist: regelmäßig natürlich nach

[1]) Lochet in Locom. aérienne I p. 252 f. [2]) Vgl. unten S. 40.



dem Lande, dem der Eigentümer als Staatsgenosse zugehört. Bei Miteigentümern aus mehreren Staaten ist entweder die Majorität maßgebend, oder es wird dem Fahrzeuge die Flagge versagt, wenn auch nur ein Miteigentümer ein Ausländer ist. Bei Aktiengesellschaften kann nur der Sitz entscheiden, welcher ihr die Nationalität gibt, Es wird Sache der Gesetzgebung und Verordnung sein, darüber Näheres zu bestimmen, namentlich ist auch zu verlangen, daß die Flagge in einer weit sichtbaren Weise angebracht wird.

Alles dieses gehört der freiwilligen Gerichtsbarkeit (des öffentlichen Rechts) an.

§ 11.

Im übrigen gilt für Luftfahrzeuge dasselbe wie für sonstige Verkehrseinrichtungen. Sind sie gestattet, so sind sie nichtsdestoweniger den polizeilichen Anordnungen unterworfen, vorausgesetzt, daß diese nicht etwa eine sachwidrige Beschränkung des Persönlichkeitsrechts, sondern eine vernünftige Anwendung der Polizeigewalt, eine reasonable exercise of the police power enthalten. Man führt in dieser Beziehung folgende amerikanische Entscheidungen an[1]: Western Union Telegraph Co. v. City of Richmond (1909), Richmond v. Southern Bell Telephone and Telegraph Co., 174 U. S. 761, Village of Jonesville v. Southern Mich. Telephone Co., 155 Mich. 86, People v. Squire, 107 N. Y. 593, American Rapid Tel. Co. v. Hess. 12 N. Y. Supp. 536, Northwestern Tel. Exch. Co. v. City of Minneapolis, 81 Minn. 140, American Rapid Tel. Co. v. Hess, 12 N. Y. Supp. 536, People v. Squire, 145 U. S. 175, City of Carthago v. Garner, 209 Mo. 688.

Die Polizei kann durch allgemeine Anordnungen wirken, sie kann diese Anordnungen durch Zuwiderhandlungsstrafen stärken, sie kann im einzelnen Fall Verordnungen treffen und diese durch die polizeilichen Zwangsmittel durchführen.

Der Gewerbepolizei gehören folgende Bestimmungen an:

1. Niemand darf ein Luftschiff oder ein Flugfahrzeug lenken, welcher nicht hierzu die polizeiliche Erlaubnis hat. Für Personen unter 18 Jahren soll keine Erlaubnis erteilt werden, denn die Verpflichtungen sind so schwer, daß mindestens das Alter der Volljährigkeitserklärung erreicht sein muß[2]. Außerdem ist diese Erlaubnis an eine Lehrzeit und eine Erprobung zu knüpfen; sie setzt ferner gewisse moralische Eigenschaften voraus, kann auch wegen moralischer Mängel oder wegen schwerer Verletzungen der aeronautischen Lenkerpflichten oder wegen erwiesener Unfähigkeit zurückgenommen werden. Im Falle der Entziehung muß ein verwaltungsgerichtliches Verfahren gestattet sein, da ein Gewerberecht als ein erworbenes Persönlichkeitsrecht nicht ohne weiteres entrissen werden darf: die Entreißung muß unter gerichtlicher Kontrolle stehen.

Immerhin kann, wenn ein konzessionierter Lenker mit einem nichtkonzessionierten aufsteigt, diesem die Manipulationen überlassen werden, sofern nur der erstere jederzeit eingreifen kann; denn ohne solche Proben ist es unmöglich, daß der Lehrling zum Meister wird.

Daraus ergibt sich von selber, daß die Erlaubnis nur einer physischen Persönlichkeit, nicht etwa einer juristischen Person oder einer Gesellschaft oder Firma erteilt werden kann, und daß sie mit dem Tode erlischt.

---

[1]) Michigan Law Review IX p. 79.

[2]) Vgl. Das internationale Abkommen für Autos v. 11. Okt. 1909 a. 2; ferner unten S. 41.



Für das internationale Recht kann die Beschränkung der Erlaubnis auf den konzessionierenden Staat nicht aufrecht erhalten werden, ebensowenig als etwa bei den Chauffeurs von Automobilen. Es wird nicht ausbleiben, daß internationale Vereinbarungen getroffen werden, wonach die Erlaubnis des einen Staates auch für den anderen gilt [1]). Nur ausnahmsweise und aus besonders wichtigen Gründen wird man die Erlaubnis eines Staates, welcher keine Garantie bietet, im Auslande als unwirksam erklären; dann ist der Lenker, der, abgesehen vom Fall der höheren Gewalt, in fremde Staaten kommt, dort so zu behandeln wie einer, der überhaupt keinen Fahrtausweis hat.

2. Die Übungsplätze der Luftfahrt und die Auf- und Absteigehallen gehören zu den Einrichtungen, welche wegen der Störung der Nachbarschaft einer polizeilichen Genehmigung bedürfen; daher müssen die Bestimmungen der Gewerbeordnung § 16 ff. hierauf ausgedehnt werden: die Nachbarschaft ist zum Widerspruch aufzufordern, und die Entscheidung über Widersprüche findet nötigenfalls in dem verwaltungsgerichtlichen Verfahren statt. Übrigens hat diese polizeiliche Genehmigung auch eine bürgerliche Bedeutung: das negatorische Recht auf Wegschaffung besteht jetzt nicht mehr, auch wenn eine Belästigung der Nachbarschaft eintritt, welche der Nachbareigentümer nicht zu dulden hätte: der Bestand der Anlage kann jetzt nicht mehr durch bürgerliche Klage gefährdet werden; dagegen bleiben dem Nachbarn alle Entschädigungsansprüche wegen übermäßiger Belästigung gewahrt, § 26 Gew.-O.[2])

Die Polizei wirkt hier als Beschützerin des Nachbarrechts, aber auch als Beschützerin der einmal geschaffenen Einrichtungen.

3. Das Luftfahrzeug muß solide eingerichtet sein und den nötigen Bedarf mit sich führen, daher kann die Polizei:

a) jedes Fahrzeug vor seiner Ingebrauchsetzung einer Prüfung unterwerfen und die Prüfung von Zeit zu Zeit wiederholen;

b) ein Fahrzeug vor seinem Flug auf Haltbarkeit und auf das Vorhandensein der nötigen Zutaten und Apparate prüfen [3]);

4. Sollten Luftfahrzeuge zum regelmäßigen öffentlichen Ortsverkehr verwendet werden, was in wenigen Jahren der Fall sein wird, dann bezieht sich § 76 der Gewerbeordnung[4]) auch hierauf, und es können Taxen bestimmt werden.

Eine solche Taxbestimmung hat auch zivilrechtliche Bedeutung, § 612 BGB.

Der Verkehrspolizei gehören an:

1. Vorsichtsmaßregeln, welche dahin abzielen, daß besonders gefährliche Betätigungen vermieden werden: so insbesondere das Verbot des Herabwerfens von festen oder schmutzigen Dingen, was leicht zu Schäden oder gar Unglücksfällen führen kann. Ein solches gefährliches Tun ist mit polizeilicher Strafe zu bedrohen. Nur im Fall des Notstandes wird das Gebot gebrochen; doch muß

---

[1]) Vgl. Das Internat. Autoabkommen 1909 a. 1 und 3.

[2]) Inwieweit neben der Gewerbeordnung die landesgesetzliche Polizeiordnung gilt (sie gilt, soweit ihre Bestimmung gewerbliche und nichtgewerbliche Einrichtungen zugleich betrifft), darüber vgl. Preuß. Ober-Verw.-G. 24. 4. 1902; 18. 3. 1909 Entsch. 41 S. 322; 54 S. 319; ferner 1. 6. 1910 und 11. 6. 1910 Goltd. Archiv 59 S. 162, 166.

[3]) Über Führung eines Schiffsjournals vgl. unten S. 42.

[4]) Wagen, Pferde, Sänften, Gondeln und andere Transportmittel.

man auch hier eine den Umständen angemessene Vorsicht beobachten, sich vor allem tunlich vergewissern, ob ein Mensch oder eine Sache unten auf der Erde verletzt werden könne. Das Herabschütten von Sand ist unentbehrlich, aber auch unbedenklich, mindestens von einiger Höhe aus.

2. Dahin gehören die polizeilichen Sicherungsmittel, um Zusammenstöße zu vermeiden: so die Bestimmung, wie die Luftschiffe und Flugmaschinen einander ausweichen sollen, ob zur Rechten oder zur Linken, oder ob hier ein Unterschied bestehen soll zwischen Luftfahrzeugen verschiedener Art, namentlich leichteren oder schwereren Kalibers, oder je nach der Winrichtung u. a. Sodann können Zeichen vorgeschrieben werden, Lautzeichen wie optische Signale. Diese werden namentlich im Nebel von der größten Bedeutung sein. Auch hier sind nicht besondere Rechtsgrundsätze aufzustellen, sondern Rechtsgrundsätze, die sich anderwärts (bei der Seeschiffahrt) bewährt haben, der besonderen Art der Luftfahrt technisch anzupassen. Vgl. unten S. 44, 45.

3. Dahin gehört die Bestimmung, daß gewisse Örtlichkeiten gar nicht, andere nur mit besonderer Vorsicht „überfahren" werden dürfen. Von Festungswerken, Fabriken und Ähnlichem wurde bereits gesprochen. Sodann darf aber auch bestimmt werden, daß z. B. beim Passieren von Städten oder von Orten, wo Festlichkeiten, Volksansammlungen stattfinden, das Fahrzeug sich in einer bestimmten Höhe bewegen muß, damit keine Gefahren entstehen.[1])

Übrigens können polizeiliche Anordnungen nicht nur zu Lasten, sondern auch zum Vorteil der Luftfahrzeuge erfolgen: auch anderen können Vorschriften im Interesse der Luftfahrt auferlegt werden; denn wer in ausgesprochener Weise in den Verkehr tritt, muß sich als Teil des Ganzen fühlen und dazu beitragen, daß der Gesamtverkehr die nötigen Sicherungen gewinnt.

Daher ist es gerechtfertigt zu verlangen, daß Gebäude von gewisser Höhe und Gebäude, welche aus anderen Gründen der Luftfahrt gefährlich werden können, namentlich auch elektrische Leitungen in einer solchen Weise kundbar gemacht werden, daß die Luftschiffe und Flugmaschinen gewarnt sind und diese Gefahren vermeiden können.

Die Einfuhr- und Zollordnungen rufen bedeutende Fragen des Luftfahrtrechtes wach. Das Transitieren von Waren in Luftfahrzengen wird für den darunterliegenden Staat nicht weiter in Betracht kommen, sehr wichtig aber wird die Sache für den Staat, in dessen Gebiet das Fahrzeug niedergeht. Hier können Bestimmungen ergehen, daß sofort die Zollbehörde verständigt und die Zolluntersuchung eingeleitet werden muß; die ganze Sachlage läßt sich aber dadurch erleichtern, daß der Führer ein Attest der Abfahrtstation mit sich führt und es der Zollbehörde vorweist, wodurch möglicherweise eine lästige und zeitraubende Untersuchung vermieden wird. Beabsichtigt man, die Waren wieder mitzunehmen, so kann leicht durch einstweilige Kautionsstellung geholfen werden. Geworfene Waren sind zollpflichtig, wenn sie noch brauchbar bleiben. Sind, wie in Frankreich, die Fahrzeuge selbst Gegenstand der Besteuerung, so können für Ein- und Austritt dieselben Sicherungsmaßregeln getroffen werden wie bei den Autos, um das lästige Hinterlegen der Sicherheit zu vermeiden.[2])

---

[1]) Verbot am Sonntag zu fahren? Sheriff von Nassau County, Loc. aer. II p. 271.

[2]) Für Deutschland vgl. Zolltarif Ges. 25. 12. 1892, und im Ganzen Würth, S. 67f. 52f. 75.



III. Internationales Recht.
Strafrecht.

§ 12.

Der notwendige Zusammenschluß der organisierten Mannschaft zur Erreichung der Zwecke des Luftschiffes führt eine Steigerung der Pflicht herbei, die ganz ähnlich wie bei Seeschiffen zu behandeln ist. Wie bei Seeschiffen der Matrose, wenn er fernbleibt, in Strafe kommt, sodaß hier der Vertragsbruch ausnahmsweise bestraft wird, wie ferner der Ungehorsam an Bord und namentlich die Meuterei zu den Delikten des Seemannsrechtes gehört, so muß dies auch bei Luftschiffen gelten: wenn also beispielsweise die Mannschaft erklärt, den Befehlen des Lenkers nicht zu folgen oder wenn sie den Lenker zwingen will, nach ihrem Willen in der einen oder anderen Weise zu verfahren [1]). Hierbei kommt noch die ungeheure Gefahr in Betracht, welche das Luftschiff, wenn der Flug einmal begonnen hat, läuft, falls nicht alles pünktlich den Befehlen gehorcht.

Auch die Möglichkeit muß geboten sein, eine gefährliche Persönlichkeit einstweilen festzuhalten und an jeder Einwirkung zu hindern, weil sonst möglicherweise Leib und Leben aller gefährdet wird. Auch die Frage, welche bei den Seeschiffen bereits aufgeworfen wurde, ob, wenn durch Funkentelegramm die Verhaftung eines Passagiers verlangt wird, der Leiter des Luftschiffes in der einen oder anderen Weise verpflichtet ist, dem zu entsprechen, kommt hier zur Geltung,

Überall handelt es sich darum, einmal die furchtbare Steigerung der Gefahr in Betracht zu ziehen, welche eintritt, wenn das Luftschiff schwebt, und andererseits auch zu berücksichtigen, wie leicht jemand auf diesem Wege der verfolgenden Gerechtigkeit entrinnen könnte.

§ 13.

Soweit das Fahrzeug ein Teil des Landes ist, dessen Flagge es führt, gilt alles, was auf dem Fahrzeug geschieht, als in dem Lande seiner Flagge erfolgt. Dieser Satz ist gesund und hat sich bewährt. Er ist bei größeren Luftschiffen ohne weiteres anwendbar; nur bei Flugmaschinen kann er zweifelhaft sein, weil hier, bei der Beschränkung der Personenzahl, ein Innenleben, ein innerer Verkehr in geringem Maße stattfinden wird, wie denn auch für kleine Seeschiffe, Boote und dgl. der Grundsatz nicht gilt. Da müßte man annehmen, daß, was in der Flugmaschine geschieht, jeweils in dem Staate erfolgt, über welchem die Flugmaschine schwebt. Es wäre dasselbe, wie wenn in einem Auto oder in einem Eisenbahnzug irgendein Vertrag abgeschlossen oder ein Verbrechen begangen würde. Indes müßte diese Behandlungsweise bei Flugmaschinen auf unübersteigliche Schwierigkeiten stoßen; denn es ist sehr häufig ganz unmöglich festzustellen, über welchem Gebiet man sich befindet, wenn der Flieger in Nacht und Nebel dahinschweift. Bei Fortbewegung auf der Erde bilden die Straßen,

[1]) Vgl. Seemanns-O. § 93ff., 101ff. Auch wenn außerhalb des Reichsgebietes, § 121.



die Städte, die Dörfer, die man passiert, einen Anhaltspunkt, so daß man nie ganz die Richtung verliert; auch besteht regelmäßig die Gelegenheit, sich über die Örtlichkeit zu erkundigen: wer gewohnt ist, Auto zu fahren, wird sich auch in Nacht und Nebel zurechtfinden. Ganz anders verhält es sich in der Luft, wo oftmals alle Mittel der Ortsfeststellung fehlen und man sich einfach dem Elemente überlassen muß. Wenn hier ein Vertrag abgeschlossen oder ein Verbrechen begangen wird, so könnte die ungemein wichtige Frage des Vertrages- oder Deliktsortes gar nicht beantwortet werden, und die Unmöglichkeit wäre nicht etwa in ganz ausnahmsweisen Umständen begründet, sondern durch die Natur des Fahrzeuges von selber gegeben.

Aus diesem Grunde glaube ich, daß der Satz von der entscheidenden Landeszugehörigkeit auch bei Flugmaschinen anzunehmen ist, daß auch diese einen Teil des Inlandsgebietes bilden, so daß, was immer in ihrem Bereiche geschieht, dem Gebiet des Flaggenstaates angehört. Das wäre nicht nur für Rechtsgeschäfte von Bedeutung, sondern auch für andere Umstände, die in das Recht eingreifen, so für den Tod eines Insassen; während eine Geburt auf dem Aeroplan kaum stattfinden wird: sollte sie jemals erfolgen, denn das Leben ist vielgestaltig, so müßten die gleichen Grundsätze in Anwendung kommen.

Dies gilt für das Innenleben, es gilt auch für die Kollision der Luftschiffe und Flieger; hier steht Flagge gegen Flagge, und jede wirkt als Teil ihres Staates. Für die Berührung mit der Erde aber müssen andere Gesetze gelten: wird durch ein Fahrzeug ein Gebäude beschädigt, ein Mensch verletzt, so ist der Ort des Zusammentreffens der Deliktsort, und dessen Staat ist für die Rechtsfolgen maßgebend[1]).

So gilt auch, wie bei Seeschiffen, der Grundsatz, daß eine Erfindungsausübung im Internum des Fahrzeugs nach den eigenen Patentgesetzen des Luftfahrstaates zu beurteilen ist, so daß der Staat, über welchem das Schiff schwebt, nichts hineinzureden hat. Anders wenn die Patentausübung mit dem Gebiete, über welches das Fahrzeug streicht, in Beziehung tritt durch Herablassen der Patentware, durch Einwirkung auf Gebäude oder Ackergelände; in diesem Falle wird in das Patentwesen des darunter liegenden Staates eingegriffen, und dieses ist maßgebend[2]).

Der Ort, wo das Fahrzeug eingetragen wurde, ist als der Sitz (Heimatsort) zu betrachten, und hier sind die das Eigentum und das dingliche Recht betreffenden Klagen zu erheben, vgl. § 488 HGB. Ebenso die aus der Betätigung des Fahrzeugs hervorgehenden Entschädigungsklagen. Ferner wäre dieser Ort als Ort des Vermögensbesitzes zu betrachten, sofern man den bedenklichen Gerichtsstand des Vermögensbesitzes überhaupt künftig beibehalten will.

Aber auch das forum delicti ist für den Zivilprozeß nicht zu entbehren; wenn durch Luftschiff oder Flugmaschine eine Beschädigung auf dem Lande verursacht worden ist, so muß am Orte der Beschädigung eine Klage gegen den Verletzer zulässig sein; denn es ist unmöglich, den Beschädigten an das Gericht des vielleicht tausend Kilometer entfernten Heimatlandes zu verweisen.

Anders ist es bei den Verletzungen des einen Fahrzeugs durch das andere;

---

[1]) Bei Fesselballons ist, solange sie befestigt sind, die Verbindung mit der Erde eine so intime, daß man sie als dem Lande angehörig zu betrachten hat.

[2]) Handbuch des Patentrechtes S. 189, 487.



denn wer Luftfahrzeuge führt, der wird schon die nötigen internationalen Beziehungen haben, um bei dem Heimatsorte des anderen Fahrzeugs klagen zu können.

Für die strafrechtliche Verfolgung ist, sofern es sich um Delikte im Internum des Fahrzeugs handelt, nach Rechtsähnlichkeit des § 10 der Strafprozeßordnung der Heimatsort maßgebend oder der nächste Ort des Heimatlandes, in dem das Luftschiff absteigt. Und auch Delikte, welche von einem Ballon gegen den anderen verübt worden sind, sind in gleicher Weise zu verfolgen[1]).

Für diejenigen Delikte aber, durch welche das Land und die auf dem Lande befindlichen Personen verletzt oder sonstige dort verörtliche Rechtsgüter betroffen werden, ist auch im Strafprozeß das forum delicti gegeben; man denke z. B. an eine Tötung vom Luftfahrzeug aus, an Beleidigung, Auswerfen von Schriftstücken, aufreizenden Preßartikeln, an Religionslästerung usw.

Wie die Luftfahrt Grund zu strafrechtlicher Verantwortung bieten kann, so ist auch ein besonderer strafrechtlicher Schutz der Luftschiffe und Flugmaschinen angezeigt: bei der großen Gefährlichkeit solches Thuns ist eine schwerere Ahndung auf die Beschädigung eines Luftfahrzeugs zu legen; ebenso eine strenge polizeiliche Pön auf alle Handlungen, welche ein solches gefährden. Unter allen Umständen muß, wenn ein Sonderschutz für sehr wichtige Dinge bestimmt wird, wie es in § 305 StGB. geschah, das Luftfahrzeug unter diese eingereiht werden.

IV. Staats- und Völkerrecht.

§ 14.

Die privatrechtlichen Grundsätze vom Luftraum müssen auch für das Staatsrecht gelten: auch die staatliche Herrschaft erstreckt sich über den Luftraum, und von einem Grundsatze, daß dieser überhaupt oder von bestimmter Höhe aus frei wäre, wie der Ozean, kann keine Rede sein. Ich habe schon seinerzeit darauf hingewiesen, wie trügerisch eine derartige Gleichstellung ist[2]); denn der Luftraum in jeder Höhe ist ein natürliches Beeinflussungsgebiet für Grund und Boden: auch von höchster Höhe können Gegenstände herunterfallen und schwere Beschädigungen anrichten; und da man nie vollkommen Herr der Höhe ist, sondern herauf und herab schweben muß, so können etwaige Kämpfe im Luftraum das darunterliegende Gebiet im höchsten Grade gefährden und den neutralen Staat plötzlich in die Schrecken des Krieges verwickeln.

Ganz anders ist es bei dem Ozean, bei dem, wie ich bereits früher bemerkte[3]), auch noch die Besonderheit gilt, daß er nur künstlich einem der Uferstaaten zugeschrieben werden könnte, während die Zugehörigkeit des Luftraumes zu dem darunterliegenden Staat sich durch das Gesetz der Schwere von selber ergibt. Das wird auch jetzt mehr und mehr anerkannt, und auch diejenigen, welche den Satz aufstellen: l' air est libre, machen so viele Ausnahmen und geben namentlich im Kriege den Staaten so viele Rechte der Einwirkung, daß von einem staatenlosen

[1]) Analogon der Seemannsämter? § 122 f. Seemanns-O.

[2]) Zeitschr. f. Völkerrecht IV S. 589 f.

[3]) Ebenda IV S. 589.

Luftmeergebiete nicht mehr die Rede sein kann. Dagegen muß man allerdings ebenso wie beim Eigentum auch hier den Satz aufstellen, daß innerhalb bestimmter Schranken die Luftfahrzeuge passieren dürfen, denn die Innehaltung der Landesgrenzen ist selbst bei den lenkbaren Fahrzeugen oft unmöglich, und jedenfalls lassen sie sich nicht festhalten, wenn man die Luftfahrt zu einem Mittel der freien und schnellen Personenbeförderung ausbilden will. Auch läßt sich nicht etwa wie bei dem Autoverkehr eine Einrichtung in der Art gestalten, daß die Luftfahrzeuge bei dem Übertritt in fremdes Staatsgebiet sich zu melden und die freie Durchfahrt zu erwirken hätten; denn Grenzstationen in der Luft lassen sich schwer denken, noch schwerer ausführen. Man muß daher dem Fahrzeuge die Durchfahrt auf dem fremden Gebiet gestatten, allerdings unter der Bedingung, daß es sich den polizeilichen Vorschriften des Staates fügt, und dies gilt natürlich insbesondere von der Landung auf fremdem Gelände.

Am meisten Ähnlichkeit hat dieses Durchfahrtsrecht mit dem Rechte der Küstenschiffahrt, wo ja auch fremden Schiffe die zum Staatsgebiete gehörigen Küstengewässer unter Vorbehalt der Beobachtung der polizeilichen Vorschriften befahren können; nur darf auch diese Analogie nicht überspannt werden.

E i n e Ausnahme aber muß für die freie Durchfahrt gelten: Staatsfahrzeuge und insbesondere Militärfahrzeuge dürfen nur mit staatlicher Genehmigung die Luftsphäre passsieren, und auch für Fahrzeuge zum Transport von Waffen oder Explosivstoffen kann eine durchgreifende Ausnahme gemacht werden.

Vorbehaltlich dieser durch das internationale Kulturinteresse uns allen aufgedrängten Ordnung unterliegt der Luftraum der vollen Gesetzgebung des Staates, über dem er gelagert ist. Der Staat kann nicht nur polizeiliche Gesetze geben, er kann auch das Recht, das im Luftraum gelten soll, bestimmen, im allgemeinen oder durch Sondergesetz. Er kann amtliche Monopole schaffen, und seine Monopole wie z. B. das Telegraphenmonopol bestehen auch für den Luftraum. Dies gilt namentlich für die Funkentelegraphie, auf welche unser Gesetz vom 7. März 1908 das Telegraphenmonopol ausgedehnt hat. Der Gebrauch von Funkentelegraphenapparaten auf Luftschiffen über uns ist daher nur mit Genehmigung des Deutschen Reiches statthaft. Die Bestimmungen des § 3 a und 3 b dieses Gesetzes, welche die Genehmigung des Reichs für Fahrzeuge vorsehen, sind analog anzuwenden. Vgl. VO. 12. Dezember 1909 (Reichsgesetzblatt S. 977). Das Luftgebiet über dem Staate ist ferner ein Zollraum, vorbehaltlich des freien Transites. Auch die Freiheit des Photographierens kann beschränkt werden.

§ 15.

Ein Bundesstaat ist Bundesstaat auch bezüglich des Luftraumes, ebenso wie die Einzelstaaten ihr Einzelstaatenrecht auch in bezug auf ihren Luftraum haben. Die Regelung des Luftverkehrs kann hiernach sowohl den Einzelstaaten als auch dem Bundesstaate überlassen werden; es ist Sache der jeweiligen Verfassung zu bestimmen, wie weit die Hoheitsrechte der einzelnen Staaten sich dem Gesamtstaate fügen müssen. Vorzuziehen ist natürlich, daß das Luftfahrtrecht ebenso wie das Automobilrecht durch den Bundesstaat geregelt wird, so daß für den größeren Kreis

eine gemeinsame Ordnung gilt. Insbesondere wird auch von seiten des Bundes die Flagge gegeben und wird von ihm bestimmt werden müssen, unter welchen Umständen das Flaggenrecht erworben und verloren wird.

Im übrigen müssen die grundlegenden Verfassungsbestimmungen auch den Luftverkehr beherrschen. Wie die Einzelstaaten keinen Krieg führen dürfen, so auch keinen Luftkrieg, weder unter sich noch mit Dritten; und wenn der Bund (das Reich) das Privat-, Prozeß-, Strafrecht ordnet, so muß diese Ordnung sich auch auf Dinge beziehen, welche im Luftraum vor sich gehen, der über einem der Einzelstaaten schwebt. Und schon läßt sich der Fall denken, daß das Reichsvereinsgesetz auf die Zusammenkunft im Luftschiffe Anwendung finden könnte!!

Neutralisierte Staaten sind auch in bezug auf die Luftsphäre neutralisiert. Wenn sie also keine Angriffskriege führen dürfen, so dürfen sie dies auch nicht in der Luftsphäre tun. Und dürfen sie nicht angegriffen werden, so darf auch ihre Luftsphäre nicht zum Gegenstand eines feindlichen Angriffes werden. Die Neutralitätsgarantie der Staaten bezieht sich also auch auf ihren Luftraum, und das Verbot der Angriffskriege erstreckt sich auf den Luftraum überhaupt.

Staatenbünde erstrecken ihre Staatenbundschaft auch in den Luftraum, hinein, z. B. Österreich und Ungarn; dies gilt, was die militärischen Operationen betrifft, es kann sich auch auf gemeinsame gewerbliche Regelungen beziehen u. a.

§ 16.

Im Kriege gibt es daher auch für Luftfahrzeuge eine Sphäre des Kriegsschauplatzes und ein neutrales Gebiet. Kriegsschauplatz kann das Luftgebiet über den kriegführenden Staaten sein, ebenso das Luftgebiet über der freien See. Das Luftgebiet über neutralen Staaten ist neutral.

Das von einem kriegführenden Teil okkupierte Land, welches natürlich gewöhnlich Land des Gegners sein wird, mitunter aber, wie bei dem russisch-japanischen Kriege, auch ein fremdes Land sein kann, ist ein unter der Herrschaft des okkupierenden Staates stehendes Kriegsland, und es finden die Bestimmungen der Gebietsokkupation auch auf das entsprechende Luftgebiet Anwendung.

Der Dienst der Luftschiffe und Flugmaschinen im Kriege kann

1. Aufklärungsdienst sein; dieser wird stets eine große Rolle spielen, oder

2. die Luftfahrzeuge werden dazu dienen, die Verbindung zwischen einzelnen Teilen des Heeres herzustellen und Nachrichten vom einen zum anderen gelangen zu lassen.

3. sie können die Möglichkeit verschaffen, aus einem besetzten oder belagerten Gelände fortzukommen oder in ein solches Nachrichten, Personen, Lebensmittel gelangen zu lassen.

4. sie können als Funktionsmittel des Krieges dienen, um von ihnen aus Projektile herabzuschleudern.

Im Sinne von 1, 2 und 3 spielten die Ballons zuerst bei der Belagerung von Paris eine Rolle: es flogen damals 64 über die Stellung der Belagerer hinüber und 5 davon wurden festgehalten. Bismarck stellte die Ansicht auf, daß für ihre



Mannschaft die Spionagestrafe angezeigt sei, und man hat auch die Insassen mehrerer Ballons zum Tode verurteilt, die Strafe aber nicht vollstreckt; denn auch den unbedingten Anhängern Bismarcks mußten gelinde Zweifel aufsteigen. Es ist selbstverständlich, daß hier von einer Spionage keine Rede sein kann; denn das wesentliche Merkmal der Spionage ist das heimliche, versteckte, und der Spion ist deswegen so gefährlich, weil er eine andere Maske annimmt und infolgedessen jeden ahnungslosen Verkehr im Kriege verhindert, da hinter jedem Menschen ein Spion stecken könnte. Die Spionage ist ein völkerrechtliches Verbrechen, während die Auskundschaft ebenso eine berechtigte kriegerische Tätigkeit ist wie das Abschießen der Geschütze. Dies ist auch in der Haager Konferenz zum Ausdruck gekommen. Allerdings spricht die Haager Landkriegsordnung in § 29 nur von Luftschiffen, deren Insassen Mitteilungen überbringen oder die Verbindung zwischen den Truppen- und Landesteilen aufrecht erhalten sollen; allein die Bestimmung ist nur erläuternd, nicht abschließend; natürlich gehört auch der Fall oben unter 3 hierher. Von einer Behandlung der Insassen als Spione könnte höchstens dann die Rede sein, wenn das Luftfahrzeug sich unter irgend einem falschen Vorwande einschliche, sich etwa als Privatluftfahrzeug ausgäbe und seinen militärischen Charakter verdeckte.

Man hat vielfach angenommen, daß Luftschiffe und Flugmaschinen im Kriege nur für den Aufklärungsdienst praktisch sein würden. Das ist sicher nicht richtig; einmal können die Funktionen 2 und 3 in Betracht kommen, aber auch 4. Denn es ist gewiß leicht möglich, daß sie durch Herabwerfen von Projektilen in die Schlacht eingreifen und beträchtlichen Schaden anrichten, vielleicht auch gar das Schicksal einer Schlacht entscheiden; und bei Belagerungen kann das Werfen von Geschossen höchst verhängnisvoll sein. Es ist bekannt, daß die Haager Konvention das Schleudern von Projektilen aus dem Luftschiffe einstweilen verbietet, aber das Verbot, dem sich übrigens nur wenig Staaten gefügt haben, hat nur so lange Sinn, als die Aviatik noch nicht genügend entwickelt ist, um den Krieg in die Lüfte zu tragen, oder durch Steilgeschütze vom Lande aus die Luftschiffe und Flugmaschinen zu treffen; ist dies möglich, so können die Luftfahrzeuge ebenso wie die Seeschiffe zu regelmäßigen Funktionsmitteln des Krieges werden, und es ist dann kein Grund mehr vorhanden, ihre Kampfesaktion zu beschränken.

Schon sucht man darum diese Entwickelung des Luftkrieges durch Versuche aller Art zu fördern; ich verweise auf ein Ausschreiben des bekannten Pneumatikfabrikanten Michelin an den Vorsitzenden des französischen Aeroklubs:[1])

Nous mettons à votre disposition une somme de 150,000 francs à distribuer en quatre prix dits: „Prix de l'Aéro-Club-Michelin."

Un prix de 50,000 francs serait attribué à l'aviateur qui, d'ici au 15 août 1912 inclus, aura, en une seule envolée, placé dans un cercle de dix mètres de rayon, le plus grand nombre de projectiles.

L'aviateur devra s'élever en emportant cinq projectiles pesant chacun au moins vingt kilos, voler à une altitude supérieure à deux cents mètres et laisser tomber ces projectiles un à un passant à plusieurs reprises au-dessus du but.

Dans le cas où plusieurs aviateurs auraient, le 15 août, au soir, placé le même nombre de projectiles dans le cercle, le vainqueur sera celui dont la distance totalisée des projectiles au centre sera la moindre.

---

[1]) Revue de la locom. aérienne II p. 234. Vgl. auch ib. II p. 271.



Un autre prix de 25,000 francs sera attribué, dans les mêmes conditions, à l'aviateur qui, volant à la hauteur minimum de 1,000 mètres, aura placé ses projectiles dans un rectangle de 100 mètres de longueur sur 10 mètres de largeur. Dans le cas où plusieurs aviateurs auraient placé le même nombre de projectiles, le vainqueur sera celui dont la distance totalisée des points de chute à l'axe sera la moindre.

Nous demanderons d'ailleurs à la commission d'aviation de l'aéro-Club de nous donner son bienveillant concours pour fixer les détails d'exécution et arrêter le règlement.

Les deux autres prix seront attribués le 15 août 1913, Pour cette seconde année, nous nous réservons de faire des modifications au programme, mais sans changer l'idée maîtresse.

Pourront seuls concourir les aviateurs français, civils ou militaires.

Nehmen wir an, daß die Luftfahrzeuge das Recht haben, Geschosse zu werfen, so sind die Bestimmungen der Haager Konvention, daß unverteidigte Orte nur unter Umständen beschossen werden dürfen, — wenn hier militärische Werke, Militäreinrichtungen, Waffenniederlagen und derartige Dinge sich befinden, — auch auf sie anwendbar. Feindliche Kriegsschiffe dürfen natürlich immer beschossen werden. Für die Aufforderung, die betreffenden feindseligen Werke zu entfernen, werden besondere internationale Formen vorgeschrieben werden müssen; auch versteht sich von selber, daß in allen Fällen jede Vorsicht anzuwenden ist, um Denkmäler, wissenschaftliche Sammlungen, Hospitäler usw. zu schonen, während anderseits alle diese Schutzobjekte durch besondere Zeichen zu markieren sind.

Unverteidigt sind Städte oder Dörfer nur dann, wenn sie überhaupt nicht verteidigt werden; wenn aber eine Verteidigung gegen den Angriff zu Land oder zur See stattfindet, so sind sie als verteidigt anzusehen, auch wenn sie nicht die entsprechenden Verteidigungsmittel gegen die Luftfahrzeuge haben; mit anderen Worten, es ist nicht notwendig, daß eine Verteidigung speziell gegen die betreffende Angriffsform gerichtet ist.

§ 17.

Das Recht des Eroberes erstreckt sich auch auf die staatlichen Luftfahrzeuge des Feindes; ihm gehören auch unbemannte Ballons des Feindes an, welche die Bestimmung haben, Nachrichten zu bringen oder Schriftstücke von einem Gelände zum anderen zu befördern.

Was aber das Privateigentum betrifft, so ist der Luftkrieg in der Hauptsache nach den Grundsätzen des Landkrieges zu behandeln. Man hat ihn als eine Art des Seekrieges darzustellen versucht, — sehr zu Unrecht. Wenn im Seekrieg das Beuterecht gegenüber privatem Eigentum noch gilt, so ist dies eben ein Überrest alter Zeiten, welcher eigentlich schon bei der Seeschiffahrt hätte aufgehoben werden sollen. Daß im Falle eines Krieges die Privatluftfahrzeuge des feindlichen Landes angehalten, genommen und konfisziert werden könnten, ist als Regelwidrigkeit vollkommen zu verwerfen, da der Krieg das Privateigentum möglichst unangetastet lassen soll. Daher hat auch der Flaggenwechsel nicht die Bedeutung wie im Seekriege; sollte man anderer Ansicht sein, so müßten die Bestimmungen der Londoner Konferenz über den Flaggenwechsel und die entsprechenden Vermutungen, namentlich die verhängnisvollen 30 Tage berücksichtigt werden. Doch alles dieses darf gar nicht zur Anwendung kommen, sondern nur der § 53 der Landkriegsordnung wonach Fahrzeuge auch privater Art vom feindlichen Staate zwar beschlagnahmt



werden dürfen, aber beim Friedensschluß wieder zurückzugeben sind. Eine solche lediglich fürsorgliche Beschlagnahme ist berechtigt: sie gründet sich darauf, daß die privaten Luftfahrzeuge leicht von der feindlichen Macht in Kriegsluftschiffe umgewandelt oder jedenfalls als Kriegsluftfahrzeuge verwendet werden können, und dies soll durch die Beschlagnahme vermieden werden. Eine solche fürsorgliche Maßregel ist aber vom Beuterecht wohl zu unterscheiden[1]).

Die Lehre von der Konterbande hat man in das Kapitel des Seekrieges gestellt; in der Tat ist das Herbeischaffen der Konterbande überhaupt eine Völkerrechtswidrigkeit, welche bei jeder Art von Krieg in Betracht kommt; und wenn hier die Grundsätze des Seekriegsrechts angezogen werden, so geschieht es nur deshalb, weil die allgemeinen Rechtsgedanken sich im Seekriegsrecht entwickelt haben.

Daher muß auch hier der Unterschied zwischen absoluter und relativer Konterbande bestehen: ebenso die Bestimmung, daß gewisse Waren nie Konterbande sind; und was von dem Prinzip der einheitlichen Reise und seiner Beschränkung bestimmt ist, muß auch hier gelten. Nur kann die Norm des a. 36 der Londoner Erklärung keine Anwendung finden, da es für den Luftverkehr ohne Bedeutung ist, ob das Land die See berührt oder nicht.

Im übrigen besteht die bekannte Folge dieser Völkerrechtswidrigkeit darin, daß die Konterbande beschlagnahmt und eingezogen wird, und dazu auch alle anderen Waren des Eigentümers der Konterbande, die sich in demselben Schiffe befinden. Das Luftfahrzeug, welches die Konterbande enthält, ist wegen dieses Deliktes gleichfalls zu konfiszieren, sobald die Konterbande mehr als die Hälfte der Ladung ausmacht, die Führung der Konterbande mithin als seine Hauptfunktion erscheint.

Für das Droit de visite und den convoi müssen die Grundsätze des Seekrieges angewendet werden; auch die Bestimmung muß gelten, daß die Prisen weggenommen, und einem Prisengerichte zugeführt werden sollen, und es wird nicht ausbleiben, daß auch hier die Idee des internationalen Prisengerichtes Wurzel fasst.

Auch das ausnahmsweise Recht, das Konterbandeschiff (gegen eventuelle Entschädigung) zu zerstören, muß wie im Seekriege gelten.

Wie ein Konterbande führendes Fahrzeug wird ein neutrales Fahrzeug behandelt, welches eine feindliche Truppenabteilung oder auch nur einzelne eingereihte Personen enthält, sofern seine Reise speziell zu dem Zwecke erfolgt, um die Personen dem Feinde zuzuführen: außerdem ein Fahrzeug, welches speziell den Zweck erstrebt, Nachrichten an den Feind oder von diesem zu befördern, vgl. a 45 der Londoner Erklärung. Sofern sich aber das neutrale Schiff an den Feindseligkeiten beteiligt, oder ausschließlich zur Beförderung von Truppen oder Nachrichten im Interesse des Feindes bestimmt ist, unterliegt es unbedingt der Einziehung, vgl. a. 46 der Londoner Konvention.

Auch passiv können Luftfahrzeuge für das Recht der Konterbande in Betracht kommen.

Luftschiffe und Flugmaschinen und ihre Bestandteile gehören nach der Londoner Erklärung a 24, Ziffer 8, zu der relativen Konterbande; sie unterliegen daher der

[1]) Eine Zerstörung ist, namentlich wenn es sich um neutrales Gut handelt, nur nach dem jus angariae statthaft. Die Bestimmung des fünften Haager Abkommens § 19 über Eisenbahnmaterial eignet sich nicht für Luftfahrzeuge.



Beschlagnahme, wenn sie für den Gebrauch der Streitmacht unmittelbar oder mittelbar bestimmt sind, a 33, wobei die Vermutung des a 34 gilt. Das Prinzip der einheitlichen Reise ist hier ausgeschlossen: sie sind nur dann der Beschlagnahme unterworfen, wenn sie in der direkten Fahrt nach dem feindlichen Gebiet begriffen sind; das gilt sowohl dann, wenn sie zur See befördert werden, als auch dann, wenn die Beförderung auf dem Luftwege erfolgt: geschieht das letztere, so fällt, wie bemerkt, die Ausnahme des a 36 weg, da es für den Luftverkehr bedeutungslos ist, ob ein Land die See berührt oder nicht.

Auch eine Luftschiffblockade ist möglich, indem die kriegführende Macht bestimmt, daß in gewissen Gegenden des feindlichen Geländes private Luftfahrzeuge nicht fahren dürfen, also z. B. über einer Festung, welche dadurch mit Munition oder Lebensmittel versorgt wergen könnte. Der Blockadebegriff wird sogar im Luftrecht eine viel größere Bedeutung gewinnen, denn die kriegführende Macht kann bestimmen, daß über dem ganzen Gebiet des Kriegsschauplatzes keine private Luftfahrzeuge sich bewegen dürfen, weder zum Zwecke der Auskundschaftung noch zum Zwecke der Verbindung mit anderen Gebieten[1]). Eine solche Isolierung, welche dem Lande die Hilfe von diese Seite her nimmt, kann es außerordentlich schwächen und ihm die letzte Unterstützung rauben. Natürlich darf auch hier die Blockade keine Papierblockade sein: sie muß durch Aufstellung genügender Militärfahrzeuge gesichert werden, ansonst sie nicht rechtsgültig ist. Der Blockadebruch und alles, was damit zusammenhängt, ist nach dem Grundsatz des Seekriegsrechtes zu behandeln.

Namentlich gilt folgendes: die Freiheit der Briefsendungen muß auch im Luftkrieg gewahrt werden; dies erleidet aber eine Ausnahme für Briefe nach oder von einer blockierten Gegend, und blockiert kann ja hier das ganze feindliche Gelände werden.

§ 18.

Kriegsluftfahrzeuge der feindlichen Staaten dürfen nicht auf das neutrale Gebiet hinüberfahren: das Passierenlassen eines solchen Fahrzeugs wäre ebenso ein Verstoß gegen die Pflicht der Neutralität, wie die Gestattung des Durchganges eines Truppenteiles.

Sollte ein Kriegsluftfahrzeug durch die Macht der Natur in das neutrale Gebiet verstoßen werden und dort landen, so müßten dieselben Grundsätze gelten wie bei dem Übertritt des kriegerischen Heeres im Landkriege, und es wäre Sache des neutralen Staates, die militärischen Insassen nach der Ordnung des Landkrieges in Verhaft zu nehmen; das Fahrzeug wäre bis zu Ende des Krieges zu verwahren: dies gilt auch für unbemannte Ballons.

Das Prinzip von dem Ausschluß der Luftfahrzeuge auf neutralem Gebiete muß dann eine Ausnahme erleiden, wenn die Fahrzeuge sich regelmäßig über See oder über dem Küstengewässer halten und nur zum Zwecke der Proviantierung oder Reparatur das neutrale Gebiet berühren; hier gilt die 24 Stundenfrist, die nur im Falle der Havarie verlängert werden darf; hier gilt die Bestimmung, daß höchstens 3 Fahrzeuge zu gleicher Zeit anwesend sein dürfen, nicht eine ganze Flotte;

[1]) Auch nicht, um die erspähten Operationen durch Funkentelegraphie der Presse mitzuteilen. Vgl. Higgins, Z. f. Völkerrecht VI S. 19 f.



hier gilt die weitere Bestimmung, daß, wenn Luftfahrzeuge beider kriegführenden Staaten landen, sie nicht zu gleicher Zeit wieder auffliegen dürfen, sondern nur mit einem Zwischenraum von 24 Stunden. Auch was die Aufnahme von Lebensmitteln betrifft, muß das gleiche gelten: statt des Feuerungsmaterial kommt natürlich das Material an Benzin oder anderen Kraftstoffen in Betracht. Sollten die Luftfahrzeuge trotz Aufforderung den Neutralitätsbestimmungen nicht entsprechen, so können sie von der neutralen Macht so sehr havariert werden, daß ein weiteres Auslaufen für kriegerische Zwecke nicht möglich ist.

Wie die neutralen Gebiete, so dürfen auch die neutralisierten Gebiete, wie z. B. der Suezkanal, in ihrer Luftsphäre nicht zu kriegerischen Unternehmungen verwendet werden; daher können die Fahrzeuge des Luftkrieges vorübergehend passieren, aber unter der Bedingung, daß hier keine kriegerischen Operationen erfolgen und die Örtlichkeit nicht zum Stützpunkt für kriegerische Betätigungen werden darf: der ruhige Handelsverkehr soll nicht gestört werden. Vgl. die Suezkanalakte a 4.

Ein Privatluftfahrzeug kann in ein Kriegsluftfahrzeug umgewandelt werden; die Umwandelung kann natürlich nicht über einem neutralen Staat, wohl aber über dem Gebiete des eigenen oder des occupierten Staates oder über dem Gebiete der freien Gewässer stattfinden. Im übrigen können die Bestimmungen des Seerechtes angezogen werden: das Schiff muß den direkten Befehlen der kriegführenden Macht unterworfen werden, die Abzeichen des Kriegsschiffes an sich tragen und einen vom Staat ernannten Kommandanten haben, während die Mannschaft der kriegerischen Disziplin untersteht.

Da es den Neutralitätsgesetzen widerspricht, zu gestatten, daß eine kriegführende Macht funkentelegraphische Anstalten auf neutralem Gebiete errichtet, so kann eine funkentelegraphische Einrichtung für Kriegszwecke auch nicht auf einem Luftfahrzeuge geduldet werden, das über neutralem Gebiete schwebt.

Dagegen ist es keine Überschreitung der Neutralitätsgesetze, wenn solche Anstalten auf dem feindlichen Gebiete in der Nähe der Grenze getroffen werden und von da aus die Funkentelegraphie über das neutrale Land hindurchgeht; denn die Benützung des Luftraumes für Funkentelegraphie ist keine Verletzung der Neutralität. Sollte aber ein neutraler Staat einer kriegführenden Macht dies verbieten und etwaige Gegenmaßregeln ergreifen, so dürfte er nicht das gleiche der anderen feindlichen Macht zugestehen, da sonst der Grundsatz der Gleichbehandlung beider Teile verletzt würde.

Zu der Neutralitätspflicht gehört es auch, daß vom neutralen Staate aus keine Ausspähungen stattfinden; der neutrale Staat muß daher sein Land nicht nur an der Grenzlinie, sondern auch in entsprechender Entfernung von der Grenz- von Spähern frei halten.

Ist der neutrale Staat nicht verpflichtet, zu verhindern, daß von Privaten Kriegsmaterial an feindliche Staaten abgegeben wird, so verhält es sich anders, wenn eine derartige Unterstützung in größerem Umfange stattfindet, vor allem wenn Schiffe bewaffnet oder ausgerüstet werden, welche einer feindlichen Macht dienen sollen, oder wenn ein bereits fertiges Schiff von einem neutralen Hafen zur Unterstützung einer feindlichen Macht ausläuft. Die Washingtoner Übereinkunft, welche in dem 13. Haager Abkommen a. 8 sanktioniert worden

ist, muß sicher auch auf Luftfahrzeug bezogen werden; denn auch hier handelt es sich nicht etwa bloß um Waffen, Munition oder ähnliche Dinge, sondern um ein strategisches Mittel, durch welches menschliche Streitkräfte nach bestimmten Gegenden des Kriegsschauplatzes befördert werden, was dem Kriege eine ganz neue Wendung geben kann. Das haben die Luftschiffe und Flugmaschinen mit den Seeschiffen gemein: man denke sich den Fall, daß eine ganze Schar von Fliegern von einem neutralen Gebiete auffliegt und einer feindlichen Macht dienstbar wird.

§ 19.

Die Grundsätze der Genfer Konvention müssen analog in Anwendung gebracht werden. Ob es hier Sanitätsfahrzeuge geben wird, steht dahin; doch ist es wahrscheinlich. In solchem Falle müssen sie natürlich eine besondere weit sichtbare Bezeichnung haben, und muß ihre Wirksamkeit näher geordnet werden; es wird dann neben militärischen auch private Sanitätsfahrzeuge geben, unter ähnlichen Bedingungen wie im Seekrieg, die ebenfalls der feindseligen Behandlung entzogen sind; auch sind die Grundsätze des Seekrieges über Zulassung privater Sanitätsschiffe anzuwenden. Wird ein Luftschiff mit etwaigem Sanitätspersonal gefangen, sei es in der Luft oder beim Absteigen, so müssen die Grundsätze der Genfer Konvention gelten: das Sanitätspersonal hat sich noch so lange aufzuhalten, als es für die Pflege der Verwundeten notwendig ist (gegen entsprechende Vergütung), muß aber dann (mitsamt seinem Privateigentum) frei nach Hause entlassen werden.

Daß auch sonstige Grundregeln für die Humanisierung des Krieges z. B. das Verbot der Anwendung vergifteter Waffen, des Gebrauchs von Dumdumgeschlossen, des Mißbrauchs der Parlamentärflagge usw. gelten müssen, versteht sich von selbst.

Anhang.

I. Verordnung des preußischen Ministers des Innern und der öffentlichen Arbeiten.[1])

Über die Maßnahmen, welche staatlicherseits gegenüber den Luftschiffahrten und dem Flugwesen getroffen werden müssen, schweben zurzeit internationale Verhandlungen, an denen auch Deutschland beteiligt ist. Nach ihrem Abschluß, der zu Ende dieses Jahres zu erwarten ist, sollen zur Erfüllung der internationalen Vereinbarungen und zur Erzielung der auf diesem Gebiete nach Lage der Verhältnisse gebotenen Einheitlichkeit der Bestimmungen vom Reiche gesetzgeberische Maßnahmen eingeleitet werden. Die in letzter Zeit sich häufenden Unglücksfälle bei Flugversuchen und Luftschiffahrten, sowie die Zunahme der Flugwettbewerbe und solcher Luftschiffahrten, bei denen Fahrgäste mitgenommen werden, lassen es aber nicht tunlich erscheinen, die reichsgesetzliche Regelung abzuwarten. Vielmehr werden im Interesse der öffentlichen Sicherheit schon jetzt gewisse Maßnahmen im Wege der Einwirkung auf die Vereine sowie des Erlasses polizeilicher Anordnungen vorzusehen sein. Hierbei kann freilich nicht unbeachtet bleiben, daß es sich um eine Materie handelt, die einerseits wegen ihrer Neuheit und des Mangels an ausreichenden Erfahrungen besondere Schwierigkeiten bietet, andererseits auch zu möglichster Rücksichtnahme und Schonung der noch im Anfange stehenden Entwicklung nötigt, um weiteren Fortschritten auf dem neugewonnenen Gebiete keine Hemmungen zu bereiten. Diese Erwägungen werden auch bei der Anwendung und Durchführung der nachstehenden Anordnungen stets im Auge behalten werden müssen. Wie diese Anregungen nach vorherigen Besprechungen und im Einvernehmen mit den Vertretern der die Interessen des Flugwesens und der Luftschiffahrt wahrnehmenden Vereine zustande gekommen sind, werden die Behörden auch bei ihrer Handhabung auf Fühlung mit den Vereinsorganen Bedacht zu nehmen haben.

Nach Lage der Verhältnisse wird es sich empfehlen, von der Zusammenfassung der Anordnungen in eine mit Strafvorschriften ausgestattete Polizeiverordnung im allgemeinen abzusehen, und soweit nicht die Art der Anordnung den Erlaß einer Verordnung erfordert, zu versuchen, ob nicht das Interesse der allgmeinen Sicherheit in ausreichender Weise durch polizeiliche Verfügungen an die in Betracht kommenden Vereine und an Einzelpersonen nach folgenden Grundsätzen gewahrt werden kann.

A. Flugwesen.

1. Flugversuche der nicht mit einem Führer-Prüfungszeugnis ausgestatteten Personen sind außer an den für diese Zwecke hergerichteten und eingefriedigten Flugplätzen da zuzulassen, wo mit Rücksicht auf die Lage zu den Verkehrsstraßen und dem Umfang des Verkehrs von

[1]) Es scheint früher die Absicht bestanden zu haben, das Überfliegen von Städten durch die Flugmaschinen ganz zu untersagen. Mit Recht erklärt die Preußische Ministerialordnung, daß man davon Abstand genommen habe und nur die Aviatiker vor den Gefahren warnt, die ein solcher Flug herbeiführt. Verboten aber ist der Flug über Fabriken mit explosiven Stoffen, Petroleumlagern usw., wodurch eine Explosion herbeigeführt werden könnte, verboten auch der Flug, welcher mit Drahtleitungen von starker elektrischer Spannung in Kollision käme.



einer derartigen, nötigenfalls auf bestimmte Tagesstunden begrenzten oder durch gewisse Schutzmaßnahmen eingeschränkten Benutzung eine Gefährdung der öffentlichen Sicherheit nicht zu befürchten ist.

2. Flieger, die ein Prüfungszeugnis besitzen, werden im allgemeinen außerhalb der bewohnten Ortschaften überall mit ihrem Flugzeug aufsteigen dürfen. Wo aber die besonderen Verhältnisse es erforderlich machen, haben die Polizeibehörden auch über die Grenzen der Ortschaften hinaus einen Bezirk zu bestimmen, in welchem das Aufsteigen ohne Erlaubnis verboten ist.

3. Von einem allgemeinen Verbot des Überfliegens bewohnter Ortschaften ist abzusehen. Die Flieger sind aber vor dem Überfliegen größerer Ortschaften unter Hinweis auf die hierbei drohenden Gefahren zu warnen. Auch ist ihnen das Überfliegen von Sprengstoffabriken, Petroleumlagern, Gasanstalten und ähnlichen feuergefährlichen Anlagen, sowie von Grundstücken, die von elektrischen Hochspannungsleitungen netzartig überzogen sind, zu verbieten.

Flüge über Befestigungen und innerhalb eines Umkreises von 10 km von solchen sind, falls nicht eine schriftliche Erlaubnis der zuständigen militärischen Behörde (Gouvernement, Kommandantur usw.) erteilt ist, zu verbieten. Bei der Landung von Fliegern, die hiergegen verstoßen haben, sind sowohl sie selbst als auch Mitfahrende als der Spionage verdächtig anzusehen; ihre Personalien sind festzustellen, und es ist nachzuforschen, ob verdächtige photographische Aufnahmen oder Zeichnungen gemacht worden sind.

4. Eine besondere Kennzeichnung der Flugzeuge soll einstweilen nicht gefordert werden.

5. Alle Personen, welche Flüge, abgesehen von den unter Ziffer 1 bezeichneten Flugversuchen, an dazu geeigneten Stellen unternehmen wollen, bedürfen dazu eines „Zeugnisses für Flugzeugführer", welches von dem Vorstande des Deutschen Luftschifferverbandes, Berlin W. 9, Voßstraße 21, ausgestellt worden ist. Dieses Zeugnis muß darüber Auskunft geben, mit welcher Art (Typ) von Flugzeugen der Inhaber zu fliegen für befähigt erachtet worden ist. Das Aufsteigen mit einem anderen Typ als dem in dem Führerzeugnis bezeichneten ist zu untersagen, bis der betreffende Flieger die Ausdehnung seines Zeugnisses auf den anderen Typ bei dem Vorstande des Deutschen Luftschifferverbandes eingeholt hat.

6. Von einer Prüfung und Abnahme der Flugzeuge kann vorläufig noch abgesehen werden.

7. Die Polizeibehörden haben namentlich darauf zu achten, daß die Personen, welche Schauflüge und sogenannte Passagierflüge (Mitnehmen von unbeteiligten Dritten, Führeraspiranten usw.) ausführen, sich im Besitze des Flugzeugführerzeugnisses (Ziffer 5) befinden.

8. Der Vorstand des Deutschen Luftschifferverbandes wird von jedem Falle der Erteilung, Ausdehnung oder Entziehung des Flugzeugführerzeugnisses dem Polizeipräsidenten in Berlin Mitteilung machen. Bestehen hinsichtlich eines solchen Zeugnisses oder seines Inhabers Zweifel, so hat die Polizeibehörde sich um Auskunft an den Polizeipräsidenten in Berlin zu wenden.

9. Im übrigen ist die Flug- und Sportplatz-Gesellschaft Berlin-Johannisthal in Berlin W. 35, Lützowstraße 89/90, bereit, Auskünfte über Flieger und Flugzeuge zu erteilen.

B. Luftschiffahrt.

a) In Luftschiffen.

1. Die Führer von Luftschiffen, in denen Fahrgäste (unbeteiligte Dritte, Führeraspiranten usw.) mitgenommen werden, müssen sich im Besitz eines von dem Vorstande des Deutschen Luftschifferverbandes ausgestellten „Zeugnisses für Luftschiffführer" befinden. In jedem derartigen Luftschiffe muß mindestens ein durch ein solches Zeugnis anerkannter Führer vorhanden sein. Es ist darauf hinzuwirken, daß möglichst alle an der Führung des Luftschiffes beteiligten Personen (Höhensteuermann, Seitensteuermann usw.) das Führerzeugnis erworben haben. Das Führerzeugnis muß für den Typ von Luftschiffen ausgestellt sein, welchen der Inhaber bei Fahrten mit Fahrgästen bedienen soll. Ferner muß in einem Luftschiff, das zu solchen Fahrten dient, die mit der Handhabung des Motors betraute Besatzung ihre Befähigung hierfür

durch ein Zeugnis nachweisen, das von einem Sachverständigen zur Prüfung von Kraftfahrzeugführern ausgestellt worden ist.

2. Der Veranstalter der Fahrten mit Fahrgästen hat ein der Polizeibehörde auf Verlangen vorzulegendes Revisionsbuch zu führen, in welches der verantwortliche Leiter des Luftschiffes einzutragen hat, wann und wie die einzelnen Teile des Luftschiffes einer Prüfung auf ihre Brauchbarkeit und Zuverlässigkeit unterworfen worden sind. Das Revisionsbuch ist nach anliegendem Muster Anlage A einzurichten. (Wird später veröffentlicht).

Die Firma, von welcher es bezogen werden kann, wird von dem Deutschen Luftschifferverbande bekanntgemacht werden.

3. Auf die Veranstalter von Fahrten mit Fahrgästen finden die Vorschriften unter A 3 Abs. 2 entsprechende Anwendung.

b) In Freiballonen.

1. Der Führer von Freiballonen, in denen Fahrgäste mitgenommen werden, müssen sich im Besitze eines von einem Verein des Deutschen Luftschifferverbandes ausgestellten, von dem Verbandsvorstande visierten Führerzeugnisses befinden.

2. Fahrgäste dürfen bei Fahrten von Freiballonen nur dann mitgenommen werden, wenn der Führer ein Zeugnis darüber beibringt, daß der Freiballon hinsichtlich des Materials und der Ausstattung einer Prüfung durch einen von der Landespolizeibehörde zu bestimmenden Verein oder Sachverständigen unterzogen worden ist. Dieses Zeugnis hat ein Jahr Gültigkeit.

3. Bei dem Aufstiege von Freiballonen zu Fahrten mit Fahrgästen muß ein Beauftragter des zuständigen Vereins, oder in dessen Ermangelung ein Beauftragter der Ortspolizeibehörde zugegen sein.

4. Luftschiffer, welche ein Führerzeugnis erwerben oder Fahrten mit Fahrgästen veranstalten wollen, ohne Mitglieder eines dem Deutschen Luftschifferverbande angehörenden Vereins zu sein, haben sich an den Verein ihres Wohnorts, erforderlichenfalls wegen Bezeichnung eines derartigen Vereins an den Vorstand des Deutschen Luftschifferverbandes zu wenden.

C. Fesselballone.

1. Die Führer von Fesselballonen, in denen Fahrgäste mitgenommen werden, müssen sich im Besitze eines von einem Verein des Deutschen Luftschifferverbandes ausgestellten, von dem Verbandsvorstande visierten Führerzeugnisses befinden.

2. Fahrgäste dürfen bei Aufstiegen von Fesselballonen nur dann mitgenommen werden, wenn der Führer ein Zeugnis darüber beibringt, daß der Fesselballon hinsichtlich des Materials und der Ausstattung einer Prüfung durch einen von der Landespolizeibehörde zu bestimmenden Verein oder Sachverständigen unterzogen, und wenn die Aufstiegstelle von einem Sachverständigen für geeignet befunden worden ist. Die Prüfungsbescheinigung hat ein Jahr Gültigkeit.

3. Vor dem Beginn von Aufstiegen mit Fesselballonen, soweit solche nicht wissenschaftlichen Zwecken dienen, muß eine Besichtigung des Ballons und seines Zubehörs durch einen Beauftragten des zuständigen Vereins oder in dessen Ermangelung durch einen Beauftragten der Ortspolizeibehörde erfolgen.

4. Personen, welche ein Führerzeugnis erwerben oder Aufstiege mit Fahrgästen veranstalten wollen, ohne Mitglieder eines dem Deutschen Luftschifferverbande angehörenden Vereins zu sein, haben sich an den Verein ihres Wohnortes, erforderlichenfalls wegen Bezeichnung eines derartigen Vereins an den Vorstand des Deutschen Luftschifferverbandes zu wenden.

5. Aufstiege mit Fahrgästen dürfen innerhalb eines Umkreises von 10 km von Befestigungen nur mit schriftlicher Zustimmung der zuständigen Militärbehörde zugelassen werden. Die Vorschriften unter A 3 Abs. 2 finden entsprechende Anwendung.

D. Allgemeines.

1. Für Ausländer treten an die Stelle der unter A 5, B a 1, b 1 und C 1 erwähnten Zeugnisse die entsprechenden, von dem Vorstande des Deutschen Luftschifferverbandes anerkannten ausländischen Zeugnisse.



2. Die Bestimmungen unter A, B und C finden keine Anwendung auf die Luftfahrzeuge der Militärverwaltung.

3. Die Polizeibehörden haben von den ihrerseits erlassenen Anordnungen allgemeiner Natur, namentlich von solchen, durch die aus besonderen Gründen das Aufsteigen von Fliegern auch außerhalb geschlossener Ortschaften verboten oder von einer besonderen Erlaubnis abhängig gemacht wird, sowohl dem Deutschen Luftschifferverbande als auch den in der Anlage C aufgeführten Fachblättern mitzuteilen. Kosten dürfen den Behörden durch die Veröffentlichung der Anordnungen in diesen Blättern nicht entstehen.

Der Minister der öffentlichen Arbeiten.
gez. v. Breitenbach.

Der Minister des Innern.
In Vertretung: gez. Holtz.

An die Herren Regierungspräsidenten und den Herrn Polizeipräsidenten in Berlin.

Anlage A.

Muster zum Revisionsbuch.

Seite 1

Nationale.

Besitzer: . . . .

. . . .

Hersteller: . . . .

. . . .

System (Fabrikzeichen): . . . .

. . . .

Datum der Herstellung: . . . .

Indienststellung: . . . .

Gas-Rauminhalt in cbm: . . . .

Länge: . . . . }
Höhe: . . . . } des Tragekörpers.
Größte Breite: . . . . }
Einschl. Anbauten: . . }

Gesamthöhe des Luftschiffes: . . . .

Seite 2

Zahl und Art der Gondeln: . . . .

Aufhängung der Gondeln: . . . .

Zahl, Verteilung und Stärke der Motoren: . .

. . . .

Zahl, Art, Größe, Ort, Material und Benzinbehälter: . . . .

. . . .

Zahl, Verteilung, Art und Größe der Luftschrauben: . . . .

. . . .

Zahl und Art der Steuer:
a) Höhensteuer: . . . .
b) Seitensteuer: . . . .

Zahl, Größe, Stoff der Gaszellen: . . . . .

. . . .

Ballonets: . . . .

. . . .

Zahl und Art der Ventilatoren: . . . . . .

. . . .

Seite 3

Zahl: . . . . }
Art: . . . . }
Ort: . . . . } der Gasventile.
Größe: . . . . }
Hub: . . . . }

Ballonetventile: . . . .

. . . .

Ventilbetätigung durch: . . . .

. . . .

Räume für Fahrgäste: . . . .

. . . .

Höchstzahl der Fahrgäste: . . . .

Mindestgewicht an Ballast: . . . .

Art und Unterbringung des Ballast: . . . .

. . . .

Seite 4

(Seiten 5 bis 14 wie 4).

Revisionsbefunde.

Datum: . . . .

Gashüllen (Festigkeit): . . . .

„ (Dichtigkeit): . . . .

Ballonets: . . . .

Ventile: . . . .

Starre Gerüstteile: . . . .

Gondeln: . . . .

Steuerorgane: . . . .

. . . .



Aufhängung: . . . .
. . . .
Motoren: . . . .
Luftschrauben: . . . .
Ventilatoren: . . . .
Kraftübertragungen: . . . .
. . . .
Ballasteirinchtungen: . . . .

Seite 15

(Ebenso eine beliebige Anzahl Doppelseiten.)

Fahrtberichte.

(für jede Fahrt auszufüllen.)

Tag: . . . .
Führer: . . . .
Besatzung: . . . .
. . . .
Fahrgäste: . . . .
. . . .
Gasfüllung: Tag: . . . . . Menge: . . .
Letzte Nachfüllung: . . . . „ . . .

Betriebsstoffe:
a) Benzin: . . . .
b) Öl: . . . .
c) Kühlwasser: . . . .

Seite 16

Ballast: . . . .
. . . .
Aufstiegsort: . . . .
Aufstiegszeit: . . . .
Fahrt über: . . . .
. . . .
Fahrt nach: . . . .
. . . .
Größte Höhe: . . . .
. . . .
Landungszeit: . . . .
Landungsort: . . . .
Ballastverbrauch: . . . .
. . . .
Grund der Landung: . . . .
Witterung: . . . .
Bemerkungen: . . . .

Anlage B.

Vereine, die zur Prüfung von Freiballonen und Fesselballonen ermächtigt sind:

1. Berliner Verein für Luftschiffahrt, Berlin W. 9, Voßstraße 21;
2. Niederrheinischer Verein für Luftschiffahrt, Barmen, Hugo Eckert;
3. Posener Verein für Luftschiffahrt, Posen, Thiergartenstraße 8;
4. Ostdeutscher Verein für Luftschiffahrt, Graudenz, Oberbergstraße 40 I;
5. Mittelrheinischer Verein für Luftschiffahrt Mainz, Schillerplatz 1;
6. Cölner Klub für Luftschiffahrt, Cöln, Kattenbug 1—3;
7. Niedersächsischer Verein für Luftschiffahrt, Göttingen, Sternstraße 6;
8. Schlesischer Verein für Luftschiffahrt, Breslau, Kaiser-Wilhelm-Straße 21;
9. Pommerscher Verein für Luftschiffahrt, Stettin, Gr. Domstraße (Kreishaus);
10. Hamburger Verein für Luftschiffahrt, Hamburg, Rechtsanwalt Dr. Mönckeberg, Hamburg, Gr. Bleichen 64;
11. Württembergischer Verein für Luftschiffahrt, Stuttgart;
12. Magdeburger Verein für Luftschiffahrt, Magdeburg, Wetterwarte der Magdeb. Zeitung, Bahnhofstraße 17;
13. Frankfurter Verein für Luftschiffahrt, Frankfurt a. M., Kettenhofweg 136;
14. Lübecker Verein f. Luftschiffahrt, Lübeck, Israelsdorfer-Allee 13a;
15. Sächsisch-Thüringischer Verein für Luftschiffahrt, Weimar, Belvedere-Allee 5; Sektion Halle a. S., Halle a. S., Poststr. 6; Sektion Erfurt, Erfurt, Bismarckstr. 6; Sektion Thüringische Staaten, Jena, Weimar, Belvedere-Allee 5;
16. Kaiserlicher Aero-Club, Berlin W. 30, Nollendorfplatz 3;
17. Nordwestdeutscher Verein für Luftschiffahrt, Osnabrück, Wittekindstraße 4;
18. Hannoverscher Verein für Luftschiffahrt, Hannover, Schriftführer: Podbielskistraße 327;
19. Verein für Luftschiffahrt, Kolmar (Pos.), Kolmar (Pos.), Bankdirektor Strohmann;
20. Leipziger Verein für Luftschiffahrt, Leipzig, Markt 1;
21. Braunschweigischer Verein für Luftschiffahrt, Braunschweig, Augusttorwall 5;
22. Verein für Luftschiffahrt von Bitterfeld und Umgegend, Bitterfeld, Weststraße 5 und Lindenstraße 18;
23. Ostpreußischer Verein für Luftschiffahrt, Königsberg i. Pr., Steindamm 2;
24. Westpreußischer Verein für Luftschiffahrt, Danzig, Holzmarkt 12/14;

25. Bremer Verein für Luftschiffahrt, Bremen;
26. Anhaltischer Verein für Luftschiffahrt, Dessau;
27. Bromberger Verein für Luftschiffahrt, Bromberg;
28. Westfälisch-Lippescher Verein für Luftschiffahrt, Bielefeld;
29. Oldenburgischer Verein für Luftschiffahrt, Oldenburg;
30. Verein für Luftschiffahrt am Bodensee, Konstanz;
31. Trierer Klub für Luftschiffahrt, Trier;
32. Luftschiffahrtsverein für Münster und das Münsterland, Münster;
33. Seeoffizier-Luftklub, Wilhelmshaven;
34. Kurhessischer Verein für Luftschiffahrt, Marburg.

Anlage C.

Fachblätter.

1. Deutsche Zeitschrift für Luftschiffahrt, Berlin W. 35, Lützowstraße 105;
2. Die Luftflotte, Berlin W. 30, Martin-Luther-Straße 10.
3. Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt, Berlin W. 57, Bülowstr. 73;
4. Luftschiffahrt, Flugtechnik und -sport, Bielefeld, Verlag E. Gundlach.
5. Im Reich der Lüfte, Berlin SW. 68, Zimmerstraße 70;
6. Der Luftverkehr, Leipzig - Plagwitz, Nonnenstraße 25/27;
7. Flugsport, Frankfurt a. M., Bahnhofsplatz 8.

II. Die englische Aerial Navigation Act, 1911.

(1 & 2 Geo. 5.)
Chapter 4.

An Act to provide for the protection of the public against dangers arising from the Navigation of Aircraft.

(2nd June 1911).

Be it enacted by the King's most Excellent Majesty, by and with the advice consent of the Lords Spiritual and Temporal, and Commons, in this present Parliament assembled, and by the authority of the same, as follows:

Power to prohibit navigation of aircraft over prescribed areas.

1. (1) A Secretary of State may, for the purpose of protecting the public from danger, from time to time by order prohibit the navigation of aircraft over such areas as may be prescribed in the order, and, if any person navigates an aircraft over any such area in contravention of any such order, he shall be guilty of an offence under this act, unless he proves that he was compelled to do so by reason of stress of weather or other circumstances over which he had no control.

(2) Any such order may apply either generally to all aircraft or to aircraft of such classes and descriptions only as may be specified in the order, and may prohibit the navigation of aircraft over any such presrcibed area either at all times or at such times or on such occasions only as may be specified in the order, and either absolutely or subject to such exceptions or conditions as may be so specified.

Penalties for offences.

2. (1) If any person is guilty of an offence under this Act he shall be liable on conviction on indictment or on summary conviction to imprisonment for a term not exceeding six months, or to a fine not exceeding two hundred pounds, or to both such imprisonment and fine.

(2) Any person aggrieved by a summary conviction under this Act may, in England or Ireland, appeal to a court of quarter sessions, and in Scotland in like manner as in the case of a conviction under the Motor Car Act, 1903, as provided by section eighteen of that Act [1]).

3. This Act may be cited as the Aerial Navigation Act 1911.

[1]) Vgl. 3 Edw. 7. c. 36.



III. Bill der American Bar Association Septembre 1910[1]).

An act to regulate commerce by air-ships.

Section 1. Be it enacted by the Senate and House of Representatives of the United States of America, in Congress assembled, that

The term air-ship in this Act includes every kind of vehicle or structure intended for use as a means of transporting passengers or goods, or both, in the air.

The term aeronaut in this Act includes every one who, being in or upon any such vehicle or structure, or anything thereto attached, undertakes to direct its ascent, or course, or descent in the air.

The verb to fly and the word voyage, as used in this Act, include every kind of locomotion by an air-ship.

Sec. 2. No air-ship shall be flown from any point within the jurisdiction of the United States to a foreign country, or from any point within any State of the United States to any other State of the United States, or from any point in any Territory of the United States to any other Territory of the United States, or any State of the United States, or any foreign country, except under the conditions prescribed in the following sections.

Sec. 3. It must carry and be in charge of an aeronaut, whose competency, as such, is certified under the authority of the United States.

Sec. 4. It must either carry a flag of the United States not less than six feet by ten in size, and display the same while over the territory of any foreign country, or it must have a copy of the flag, of not less size, painted on some part of the air-ship, so as to be visible to those who may be beneath it.

Sec. 5. It must have a number, in characters not less than three feet in height, painted on some part oft the air-ship, so as to be visible to those who may be beneath it.

Sec. 6. It must be registered by this number in the office of the Collector of Internal Revenue for the district including the residence of the owner or charterer, or if such owner or charterer do not reside in any such district, then in the office of such collector for the district in which the voyage is to be begun by the ascent of the air-ship: and a certificate of the registry issued by said collector.

Sec. 7. The owner of the air-ship, or if he has let it to another for such voyage, either the owner or such charterer, shall, before the voyage is commenced, file in the office of such Collector a bond to answer for all damages that may result to any person or persons, as an incident of any voyage that said air-ship may make or attempt to make, either from the descent of the air-ship, or from the fall of the air-ship, or any part thereof, or anything that was on board of it, or from the trailing of anything in the nature of a guide-rope. Such bond must be a joint and several bond, signed, by such owner or charterer and a sufficient surety, and shall be for such an amount, not less than $ 1000, as the Collector of Internal Revenue for the District wherein the air-ship is registered may order, and such Collector must also endorse the bond with his approval of the sufficiency of the surety. Such bond shall be payable to the United States of America; but any person claiming damages thereunder may bring suit upon it any court having competent jurisdiction, whether a court of the United States or of any State or Territory of the United States, or of any foreign country, within the territorial jurisdiction of which court he claims that such damages were caused; or, at the option, of such plaintiff, in any such court within the territorial jurisdiction of which he can make due service of process on the bondsmen or either of them. If such suit be terminated by a judgment for the defendant, he shall recover the costs of suit from the party bringing such suit.

Sec. 8. The air-ship must carry, throughout any trip, a copy of such bond and of its certificate of registry, and of the certificate of the competency of the aeronaut, which copies shall be authenticated under the hand seal of the Collector of Internal Revenue, in whose office the original of each must be filed.

---

[1]) Nach Michigan Law Review IX p. 25 f.

Sec. 9. The aeronaut for the voyage, as an incident of which any damage may be claimed, shall allow any party claiming to be so damaged to make and keep copies of any or all of the papers mentioned in Section 8.

Sect. 10. The certificate mentioned in Section 3 may be granted by the District Attorney of the United States for any Judicial District, after such examination and tests as he may think fit to impose, to be conducted by himself of such persons as he may appoint or approve. It shall be signed by the clerk of the District Court of the United States in which he is Attorney, and authenticated under the seal of the court.

The expence of such examination, tests, certificate, shall be paid by the applicant for such certificate, in advance, and if a certificate be refused, the fee for the certificate shall be refunded to him.

Sec. 11. Said bond may be limited to be in force for only one year from the date of filing, or for any other term exceeding one year. If not so limited, it shall be in force during the life of the air-ship therein mentioned.

Sec. 12. No minor shall receive a certificate of competency.

Sec. 13. Fees under this Act shall be collectible as follows.

To the District Attorney.

For the examination and tests provided for by Section 10, such sum as he may demand in any instance, not exceeding $ 25; for granting a certificate or competency, $ 5.

To the Clerk of the District Court.

For the issue of a certificate of competency under seal, $ 2.

To the Collector of Internal Revenue.

For filing each certificate of competency or bond, $ 1; for making, recording and certifying to each registry, $ 2; for authenticating a copy of either certificate or of the bond, $ 2; for approving or disaproving every bond offered for his approval, $ 5.

Sec. 14. Any violation of any provision of this Act by the owner or charterer of any air-ship, or by any aeronaut, shall be a misdemeanor, and punishable by a fine not exceeding $ 1000 or by imprisonment for not exceeding thirty days, or by both, at the discretion of the court.

IV. Beschlüsse der Madrider Verhandlung des Institut de droit international 1911.

Régime juridique des Aéronefs.

1. Temps de Paix.

1. Les aéronefs se distinguent en aéronefs publics et en aéronefs privés.

2. Tout aéronef doit avoir une nationalité et une seule. Cette nationalité sera celle du pays ou l'aéronef aura été immatriculé. Chaque aéronef doit porter des marques speciales de reconnaissance. L'Etat auquel l'immatriculation est demandée, détermine à quelles personnes et sous quelles conditions il peut l'accorder, la suspendre ou la retirer.

L'Etat qui immatricule l'aéronef d'un propriétaire étranger ne saurait toutefois prétendre à la protection de cet aéronef, sur le territoire de l'Etat dont relève ce propriétaire, contre l'application des lois par lesquelles cet Etat aurait interdit à ses nationaux de faire immatriculer leurs aéronefs à l'étranger.

3 . La circulation aérienne internationale est libre, sauf le droit pour les Etats sus-jacents de prendre certaines mesures. à determiner, en vue de leur propre sécurité et de celle des personnes et des biens de leurs habitants.

2. Temps de guerre.

1. La guerre aérienne est permise, mais à la condition de ne pas présenter pour les personnes ou la propriété de la population pacifique de plus grands dangers que la guerre terrestre ou maritime.



V. Französisches Dekret über die Aviatik vom 21. November 1911[1]).

Le Président de la République française,

Sur les rapports des ministres des travaux publics, des postes et des télégraphes, de l'intérieur, des finances, de la guerre et de la marine,

Vu l'avis de la commission permanente de la navigation aérienne, instituée par arrêté du ministre des travaux publics, des postes et des télégraphes en date du 28 juin 1910,

Décrète:

TITRE PREMIER. — Des permis de navigation.

Article premier. — Aucun aéronef ne peut être mis en service en France sans un permis de navigation, à moins qu'il ne satisfasse anx conditions prévues par les conventions internationales.

Art. 2. — La demande de permis est adressée par le propriétaire de l'aéronef au préfet de la résidence.

A la demande doivent être joints:

1° L'indication du nom, du domicile et de la nationalité du propriétaire. Si la demande émane d'un étranger, l'identité du requérant est établie par des actes visés par les autorités consulaires de son pays;

2° La photographie de l'aéronef, si la demande s'applique à un ballon dirigeable ou à un appareil d'aviation;

3° La justification que l'aéronef est d'origine française ou a acquitté les droits de douane;

4° Un certificat de navigabilité.

Art. 3. — Le certificat de navigabilité est établi par le service des mines après essais jugés par lui suffisants.

Le certificat de navigabilité doit contenir les indications suivantes: nom ou raison sociale et domicile du constructeur; lieu et année de la fabrication; numéros et autres marques d'identification données par le constructeur; caractéristiques de l'aéronef conformément aux prescriptions déterminées par une instruction du ministre des travaux publics. Le requérant est tenu de remettre au service des mines tous les documents nécessaires à l'établissement de ces indications.

Peuvent être considérés par le service des mines comme présentant des garanties suffisantes de navigabilité: les aéronefs reconnus, après essais, aptes à naviguer par les associations habilitées à cet effet, ceux d'origine française conformes à un type déjà agréé, ainsi que les ballons libres.

En vue de l'application du présent article, tout constructeur d'un appareil d'un type déjà agréé doit donner à chaque appareil un numéro de série, et dans la série à laquelle il appartient, un numéro d'ordre. Il remet à son acheteur une déclaration indiquant les caractéristiques de l'aéronef et attestant qu'elles sont entièrement conformes à celles du type déjà agréé. Cette pièce est jointe à la demande de certificat adressée au service des mines.

Sont également adressées au service des mines les attestations de navigabilité émanant des sociétés qui ont constaté la navigabilité d'un aéronef.

Art. 4. — Sur le vu de la demande de permis et des pièces annexées, le préfet procède à l'immatriculation de l'aéronef.

L'inscription sur le registre matricule comprend: 1° la date de l'inscription; 2° le numéro d'ordre du registre matricule; 3° l'indication du port d'attache si l'aéronef est un ballon dirigeable; 4° la description de l'aéronef; 5° l'indication des marques d'identification données par le constructeur; 6° les lettres et la numéro distinctifs donnés par le préfet dans les conditions qui seront fixées par le ministre des travaux publics; 7° les nom, domicile et nationalité du propriétaire de l'aéronef.

Après avoir procédé à l'immatriculation, le préfet délivre le permis de navigation qui reproduit les mentions du certificat de navigabilité et celles du registre matricule. Sur le permis est apposée la photographie de l'aéronef, s'il s'agit d'un ballon dirigeable ou d'un appareil d'aviation.

[1]) Locom. aérienne II p. 305f.

Art. 5. — Aucun aéronef ne peut circuler sans porter en caractères apparents, dans les conditions qui seront fixées par le ministre des travaux publics:

1° La lettre F, si l'aéronef appartient à un Français ou à un étranger domicilié en France, ou à une société ayant son siège social en France;

2° Les lettres et numéros distinctifs inscrits sur le registre matricule.

Art. 6. — Le permis de navigation cesse d'être valable et doit être renouvelé en cas de changement entraînant des modifications dans ses énonciations. Le permis qui a cessé d'être valable doit être renvoyé par le titulaire de ce permis au préfet dont il émane, aux fins de radiation à effectuer sur le registre matricule.

Le propriétaire d'un aéronef est également tenu de renvoyer aux fins de radiation son permis de navigation au préfet qui l'a délivré si l'aéronef a été détruit ou s'il est hors d'usage.

Art. 7. — A toute époque, le service des mines peut visiter les aéronefs admis à circuler.

Les associations dûment habilitées peuvent également visiter les aéronefs dont elles ont garanti la navigabilité; elles doivent communiquer au service des mines le résultat de leurs visites.

S'il est constaté qu'un aéronef ne répond plus aux spécifications du permis de navigation, ce permis est retiré par arrêté du préfet sur avis du service des mines, et notification immédiate de cet arrêté est faite au propriétaire de l'appareil.

S'il est reconnu qu'un aéronef n'est pas en bon état d'entretien, le permis peut également être retiré, après une mise en demeure restée sans effet.

TITRE II. — De la conduite des aéronefs.

Art. 8. — Les aéronefs ne sont admis à circuler que s'ils ont à bord un pilote pourvu d'un brevet d'aptitude.

Le brevet d'aptitude est délivré par le préfet, après examen par le service des mines où par une société habilitée à cet effet par l'administration.

Art. 9. — Des brevets différents sont délivrés pour la conduite d'un ballon libre, d'un ballon dirigeable ou d'un appareil d'aviation, et le brevet d'aptitude délivré pour une catégorie d'aéronefs n'habilite pas à conduire un appareil d'une autre catégorie.

Art. 10. — Le brevet d'aptitude contient les nom, prénoms et signalement du titulaire, son lieu et sa date de naissance, ainsi que sa photographie et sa signature.

Il ne peut être accordé à des personnes âgées de moins de dix-huit ans, sauf autorisation spéciale du ministre des travaux publics; il ne peut être délivré qu'à des personnes de bonne moralité.

Le brevet d'apitude peut être retiré par le préfet, sauf recours au ministre des travaux publics, s'il est évident que les conditions dans lesquelles il a été délivré ne sont plus remplies.

TITRE III. — De la circulation des aéronefs.

Art. 11. — Il est interdit aux aéronefs d'atterrir dans les agglomérations, sauf sur les emplacements spécialement désignés par l'autorité municipale.

Art. 12. — Sauf autorisation spéciale, il est défendu aux aéronefs de passer au-dessus des zones interdites. Ces zones sont énumérées par un décret qui en définit les limites et qui est inséré au Journal Officiel.

Art. 13. — Tout aéronef qui s'engage sans autorisation au-dessus d'une zone interdite est tenu d'atterrir dès qu'il y est invité et, s'il y a impossibilité de le faire immédiatement, dès qu'il le peut.

Art. 14. — L'administration arrêtera les modes d'avertissements qui pourront être employés pour prévenir un aéronef qu'il est au-dessus d'une zone interdite et pour l'inviter à atterrir.

Art. 15. — Sauf autorisation spéciale du ministre de l'intérieur, le transport, par aéronefs, des explosifs, armes et munitions de guerre, pigeons voyageurs, est interdit.

Cette autorisation ne sera valable pour le transport des pigeons voyageurs qu'avec l'assentiment du ministre de la guerre ou de la marine quand l'aéronef sera autorisé à passer au-dessus des zones interdites.



Art. 16. — Le transport et l'usage des appareils de photographie sont interdits, à moins d'autorisation spéciale du préfet.

Cette autorisation ne sera valable qu'avec l'assentiment du ministre de la guerre ou de la marine, quand l'aéronef sera autorisé à passer au-dessus des zones interdites.

Art. 17. — Les aéronefs ne peuvent avoir à leur bord des appareils radiotélégraphiques ou radiotéléphoniques qu'à la condition d'y avoir été autorisés par le ministre des travaux publics, des postes et des télégraphes, après avis de la commission inter-ministérielle de télégraphie sans fil.

TITRE IV. — DES RÈGIES A OBSERVER LORS DU DÉPART, DE L'ATTERRISSAGE ET EN COURS DE ROUTE.

Art. 18. — Sans préjudice de l'accomplissement des formalités fiscales, les aéronefs doivent avoir à bord, pour circuler, leurs permis de navigation, ainsi que les brevets du personnel obligé d'en être muni.

Il est tenu en outre un livre de bord.

Ces documents doivent être présentés à toute réquisition de l'autorité publique.

Art. 19. — Le livre de bord doit contenir les indications suivantes: la catégorie à laquelle appartient l'aéronef, le lieu et le numéro d'immatriculation, le nom, la nationalité, la profession et le domicile du propriétaire.

Art. 20. — Sont portés sur le livre de bord pour chaque ascension:

1° Le nom, la nationalité, le domicile du pilote et des hommes d'équipage, ainsi que les noms des voyageurs;

2° L'indication de la marche suivie en plan et en altitude toutes les fois que les circonstances le permettront; pour les ballons dirigeables, la marche en plan est indiquée sur une carte et la marche en altitude l'est à l'aide d'un barographe qu'ils sont tenus d'avoir à bord;

3° L'indication de tous les évènements intéressants, notamment les escales et les accidents survenus à l'aéronef, à l'équipage et aux autres voyageurs.

Les mentions ci-dessus énumérées sont portées sur le livre de bord autant que possible au cours de l'ascension ou, en cas d'empêchement, après l'ascension et dans un délai maximum de douze heures.

Art. 21. — Pour les appareils d'aviation, les indications relatives au personnel aux points de départ et d'arrivée, aux escales et aux accidents sont seules exigées.

Art. 22. — Le livre de bord doit être conservé pendant deux ans après la dernière inscription et être représenté à toute réquisition de l'autorité publique.

Art. 23. — Les représentants de l'autorité publique peuvent visiter tout aéronef pour exercer les droits de police et de surveillance fiscale.

Art. 24. — Quand un aéronef arrive de l'étranger, le pilote doit immédiatement prévenir le maire de la localité du point d'atterrissage qui veille à ce que le chargement, s'il y a lieu, ne puisse être distrait, ni le matériel emporté avant que les agents du fisc n'aient pu procéder aux vérifications et aux opérations nécessaires.

Art. 25. — La circulation aérienne doit être effectuée en conformité du règlement spécial annexé au présent décret et concernant notamment:

Les feux;

Les signaux phoniques;

Les règles de route et de manoeuvres;

Les signaux d'atterrissage et de détresse;

L'emploi du lest.

Art. 26. — En cas de danger couru par un aéronef, les autorités locales doivent prendre les mesures en leur pouvoir pour lui prêter assistance.

Art. 27. — Toute personne qui trouve une épave d'aéronef doit en faire la déclaration à l'autorité municipale; si l'épave est trouvée en mer, la déclaration doit être faite à l'autorité du premier port où le navire aborde.

TITRE V. — DES AÉRONEFS PUBLICS.

Art. 28. — Sont considérés comme aéronefs publics les aéronefs affectés au service de l'Etat et se trouvant sous les ordres d'un fonctionnaire à ce dûment commissionné.

Art. 29. — Les dispositions du présent règlement sont applicables aux aéronefs publics, à l'exception des articles 2 à 10 et 17 à 23.

Les conditions techniques applicables aux appareils radiotélégraphiques et radiotéléphoniques placés à bord des aéronefs publics sont fixées par le ministère intéressé, après avis de la commission interministerielle de télégraphie sans fil.

Art. 30. — Sont considérés comme aéronefs militaires, les aéronefs publics placés sous les ordres d'un commandant portant l'uniforme et qui ont à bord un certificat établissant leur caractère militaire. Les dispositions mentionnées aux articles 12 à 16 ne leur sont pas applicables.

Art. 31. — Les aéronefs publics portent comme seule marque un signe distinctif qui est différent pour les aéronefs militaires et pour ceux dépendant des autres administrations publiques.

Art. 32. — La circulation en France des aéronefs militaires étrangers est interdite.

TITRE VI. — Dispositions diverses.

Art. 33. — Ne sont pas soumis anx dispositions des titres I et II et des articles 18 à 22, 24, 26, et 27 du titre IV les aéronefs évoluant au-dessus des aérodromes, tant que ces evolutions ne donnent pas lieu à spectacle public.

Pour les aéronefs évoluant en dehors des aérodromes dans les régions agréées par l'administration des travaux publics comme champs d'expérience, les titres I et II et les articles 18 à 22 du titre IV ne sont pas applicables.

Art. 34. — Les évolutions d'aéronefs, lorsqu'elles constituent des spectacles publics, ne peuvent avoir lieu qu'en vertu d'une autorisation du préfet, après avis du maire.

Pour les épreuves comportant un trajet au-dessus de la pleine campagne et organisées à date fixe, l'autorisation, sera donnée après avis des maires des communes où doivent avoir lieu les départs, les escales et les arrivées, par le préfet du département si un seul département est intéressé, par le ministre de l'intérieur en cas contraire.

Pour ces épreuves, comme pour les spectacles publics, la demande doit être faite un mois au moins à l'avance, afin de permettre à l'autorité compétente de prendre dans l'interêt public toutes les mesures nécessaires.

Aucune autorisation ne peut être accordée que sous réserve de l'engagement pris par le pétitionnaire de supporter les frais de surveillance et tous autres frais occasionnés à l'administration par l'épreuve.

Le pétitionnaire doit, à cet effet, déposer une consignation préalable.

Art. 35. — Les ministres des travaux publics, des postes et des télégraphes, de l'intérieur, des finances, de la guerre et de la marine sont chargés chacun en ce qui le concerne, d'assurer l'exécution du présent décret, qui sera publié au Journal officiel et inséré au Bulletin des lois.

Fait à Paris, le 21 novembre 1911.

A. Fallières.

Par le Président de la République:
Le ministre des travaux publics,
des postes et des télégraphes,
Victor Augagneur.

Le président du conseil, ministre de l'intérieur,
J. Caillaux.

Le ministre des finances,
L.-L. Klotz.

Le ministre de la guerre,
Messimy.

Le ministre de la marine,
Delcassé.



ANNEXES, — Règlement de la circulation aérienne.

I. — Règles concernant les feux.

Article premier. — Les règles concernant les feux doivent être observées par tous les temps, du coucher au lever du soleil, et, pendant cet intervalle, on ne doit montrer aucun feu pouvant être pris pour un des feux prescrits.

Feux que doivent porter les ballons dirigeables.

Art. 2. — Un ballon dirigeable faisant route, c'est-à-dire ayant une vitesse propre, doit porter:

g) A l'avant, un feu blanc brillant disposé de manière à montrer une lumière ininterrompue sur tout le parcours d'un arc horizontal de 220°, soit 110° de chaque côté de l'aéronef à partir de l'avant;

b) A droite un feu vert établi de manière à projeter une lumière ininterrompue sur tout le parcours d'un arc horizontal de 110°, c'est-à-dire depuis l'avant jusqu'à 20° sur l'arrière du travers du côté droit;

c) A gauche, un feu rouge établi de manière à projeter une lumière ininterrompue sur tout le parcours d'un arc horizontal de 110°, c'est-à-dire depuis l'avant jusqu'à 20° sur l'arrière du travers, du côté gauche.

d) Les trois feux, blanc, vert et rouge, devront être visibles dans chaque plan vertical correspondant à leurs zones respectives dans toute direction comprise entre la verticale, vers le bas, et une ligne se rapprochant autant que possible de la verticale et faisant un angle d'au moins 30° avec l'horizontale, vers le haut;

e) Les feux de côté, vert et rouge, devront être munis d'écrans disposés de telle sorté que leur lumière ne puisse être aperçue du côté opposé;

f) Le feu blanc doit être visible à une distance d'au moins 4 kilomètres, les feux vert et rouge à une distance d'au moins 2 kilomètres, par nuit noire et atmosphère pure;

g) Un ballon dirigeable devra, en outre, avoir les moyens de montrer occasionnellement un feu blanc derrière, s'il est rattrapé par un autre aéronef.

Feux des appareils d'aviation.

Art. 3. — Les règles relatives aux feux sont applicables, en principe, aux appareils d'aviation. Toutefois, par une mesure de tolérance temporaire, ils ne sont astreints qu'à porter un seul fanal, disposé de manière à montrer un feu vert à droite et un feu rouge à gauche.

Les angles de visibilité, dans le plan horizontal, doivent être ceux prévus pour les ballons dirigeables. En ce qui concerne les angles de visibilité dans le plan vertical et le minimum de visibilité des feux, il est simplement recommandé de se rapprocher autant que possible des règles qui ont été prescrites pour les ballons dirigeables.

Feu des ballons libres.

Art. 4. — Les ballons libres doivent avoir, prêt à servir, un fanal à feu blanc et le montrer à l'approche d'un autre aéronef.

II. — Signaux phoniques.

Art. 5. — a) Par les temps de brouillard, de brume, de bruine, de neige ou pendant les forts grains de pluie, les ballons dirigeables doivent, tant de jour que de nuit, faire usage de signaux phoniques puissants discontinus.

b) Dans les mêmes conditions, les ballons libres devront faire usage de signaux analogues lorsqu'ils seront dans le voisinage d'aéronefs à moteur.

c) Les règles ci-dessus ne sont applicables aux appareils d'aviation que dans la mesure du possible.

III. — Règles de route et de manoeuvres.

Art. 6. — Un aéronef à moteur doit toujours se tenir à une distance d'au moins 100 mètres de tout autre aéronef, dans toute direction horizontale, verticale ou oblique.

Art. 7. — Les aéronefs à moteur doivent toujours s'écarter des ballons libres.

Art. 8. — Lorsque deux aéronefs à moteur font des routes qui se croisent de manière à faire craindre une collision, l'aéronef qui voit l'autre sur la droite de sa propre direction doit s'écarter de la route de cet autre aéronef.

Quand, d'après la règle ci-dessus, l'un des navires aériens doit changer sa route, l'autre doit conserver la sienne et maintenir sa vitesse.

Art. 9. — Tout aéronef à moteur qui est tenu, d'après ces règles, de s'écarter de la route d'un autre aéronef doit, si les circonstances de la rencontre le permettent, éviter de couper la route de l'autre aéronef sur l'avant de celui-ci.

Art. 10. — Lorsque deux aéronefs à moteur ont le cap l'un sur l'autre ou presque l'un sur l'autre, en suivant des directions opposées ou à peu près opposées, à des altitudes peu différentes, de manière à faire craindre une collision chacun d'eux doit venir sur la droite de sa propre direction de manière à laisser l'autre sur sa gauche.

Art. 11. — Quelles que soient les prescriptions des articles qui précèdent, tout aéronef a moteur qui en rattrape un autre, doit s'écarter de la route de ce dernier.

Doit être considéré comme aéronef qui en rattrape un autre, tout aéronef qui se rapproche d'un autre en venant direction de plus de 20° sur l'arrière du travers de ce dernier, c'est-à-dire qui se trouve dans une position telle, par rapport à l'aéronef rattrapé, qu'il ne pourrait, pendant la nuit, apercevoir aucun des feux de côté de celui-ci. Aucun changement ultérieur dans le relèvement des deux aéronefs ne pourra faire considérer l'aéronef qui rattrape l'autre comme croisant la route de ce dernier, au sens de l'article 8, et ne pourra l'affranchir de l'obligation de s'écarter de la route de l'aéronef rattrapé jusqu'à ce qu'il l'ait tout à fait dépassé.

Art. 12. — Toutes les fois que les règles précédentes ne précisent pas la manoeuvre qui doit être faite, l'aéronef ou les aéronefs qui ont l'obligation de manoeuvrer peuvent le faire aussi bien dans le sens vertical que dans le sens horizontal.

Art. 13. — En cas de collision imminente les deux aéronefs doivent faire la meilleur manoeuvre possible. En particulier, le plus élevé doit manoeuvrer pour monter et l'autre pour descendre.

Lorsqu'ils sont au même niveau, en cas de croisement, celui des denx qui aperçoit l'autre sur la droite de sa propre direction doit manoeuvrer pour monter et l'autre pour descendre.

Art. 14. — Lorsqu'un ballon dirigeable a stoppé volontairement, il doit montrer une boule noire très apparente; il reste, dans ce cas, soumis aux mêmes règles que les aéronefs en marche.

S'il n'est plus maître de sa manoeuvre pour cause d'avarie, il doit montrer deux boules noires très apparentes placées verticalement l'une au-dessus de l'autre. Dans ce cas, il est assimilable aux ballons libres.

La nuit, dans les deux cas, il ne montre que le feu blanc et est assimilable aux ballons libres.

IV. — Signaux d'atterrissage et de détresse.

Art. 15. — Lorsqu'un ballon dirigeable se dispose à atterrir il doit:

De jour, faire apparaître sous la nacelle un pavillon rouge de forme triangulaire;

De nuit faire clignoter ou agiter un feu blanc, en maintenant allumés ses feux de côtés.

Art. 16. — a) En cas de détresse, au-dessus des terres comme au-dessus de la mer, un ballon dirigeable doit, dans la mesure du possible:

De jour, faire apparaître sous la nacelle un pavillon rouge triangulaire et montrer les deux boules noires superposées prévues à l article 14.

De nuit, faire agiter ou clignoter un feu blanc en éteignant ses feux de côté.

De jour comme de nuit, il peut en outre faire usage d'un signal phonique.

b) Un ballon libre en détresse doit:

De jour, montrer sous la nacelle un pavillon rouge triangulaire, et la nuit, agiter un feu blanc.

Il peut, en outre, de jour comme de nuit, faire usage d'un signal phonique.

V. — Emploi du lest.

Art. 17. — Il est interdit d'employer d'autre lest que du sable très fin ou de l'eau.



Luftfahrt und Wissenschaft

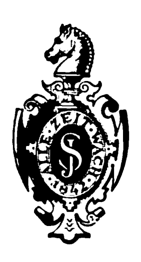
In freier Folge herausgegeben
von
Joseph Sticker

Schriftleitung und Verwaltung der Stiftungen:
Professor A. **Berson**, Dipl.-Ing. C. **Eberhardt**,
Gerichtsassessor J. **Sticker**, Professor Dr. R. **Süring**,
Wirkl. Geh. Oberbaurat Dr. H. **Zimmermann**

Heft 2

Experimentelle Untersuchungen aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Luftelektrizität. 1. Teil

Von
M. Dieckmann



Berlin
Verlag von Julius Springer
1912

Experimentelle Untersuchungen aus dem Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Luftelektrizität

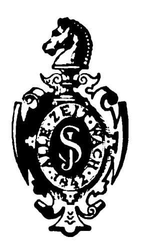
Von

Dr. M. Dieckmann,
Privatdozent für reine und angewandte Physik
an der Kgl. Technischen Hochschule München

1. Teil

Die Empfangsstörung

Mit 56 Abbildungen



Berlin
Verlag von Julius Springer
1912

Stiftung des

Berliner Vereins für Luftschiffahrt, Berlin.

Zur Einführung[1]).

Mit früher nie gekannter Raschheit vollzieht sich in unseren Tagen der Entwicklungsgang neuartiger technischer Errungenschaften. Wenn dieses Tempo bereits bei den Problemen der elektrischen Lichtleitung und Kraftumformung, bei der Ausbildung des Fernsprechers und der Funkentelegraphie ein immer mehr beschleunigtes wurde, so gestaltete sich der Fortschritt zu einem geradezu stürmischen bei dem jüngsten, in mancher Hinsicht merkwürdigsten Kinde der schaffenden Technik, so recht dem eigentlichen Schoßkinde neuerer Zeit: der Luftfahrt. Mit angehaltenem Atem sieht der moderne Mensch auf diesem Gebiete Wunder zu Taten, Taten zu Alltäglichkeiten werden. So mußte alsbald auch ein überaus starkes Bedürfnis nach Belehrung über die Möglichkeiten und Bedingungen solch' einzigartiger Entwicklung, über Gegenwärtiges und künftig zu Erhoffendes sich überall fühlbar machen.

Solchem allgemeinen Bedürfnis nachzukommen, beeilen sich in allen Kulturländern, nicht am wenigsten sicherlich in Deutschland, vielfältige Veröffentlichungen wissenschaftlicher, technischer und populärer Natur, in Form von Buch und Abhandlung, als Zeitschrift und zwanglos erscheinender Beitrag. Zu diesen letzteren gesellt sich nunmehr in „Luftfahrt und Wissenschaft" ein neues Unternehmen; die Herausgeber hoffen, daß es sich auch als neuartig erweisen werde.

Wir wollen weder über den täglichen Fortschritt auf dem weiten Gebiete der Luftfahrt berichten, noch für Systeme, Schulen oder Ansichten die Lanze brechen, noch agitatorisch wirken. Auch sollen nicht in diesen Blättern Ergebnisse niedergelegt werden von Forschungen, bei welchen die Luftfahrt zufälliges Mittel zum Zwecke ist, die sich aber wesentlich mit dem Studium der Physik oder der Chemie der Atmosphäre befassen. Den Herausgebern schwebte in erster Linie der Gedanke vor, daß es an der Zeit sei, heute, wo die Aeronautik — im weitesten Sinne — Berührungspunkte mit nahezu allen Wissenszweigen gewonnen hat, sich auf diesen Grenzgebieten umzusehen, und mindestens vorläufig durch berufene Federn festzustellen, was die älteren Schwestern zu dem Eindringling zu sagen haben, worin sie ihm zu Danke verpflichtet sind, wo sie im Gegenteile Dank beanspruchen können dafür, daß sie sich der neuen und eigenartigen Schwester zur Verfügung gestellt haben. Neben dem ganzen Heere der technischen und physikalischen Wissenschaften sollen Jurisprudenz und Physiologie, Astronomie und Lichtbildkunst,

[1]) Heft 1 entnommen.



die Erdkunde im allgemeinen, wie im besonderen Kolonial- und Polarforschung zu Worte kommen, und noch manch' anderer Wissenszweig. Außerdem aber hoffen die Herausgeber der Luftfahrt und der Wissenschaft zu dienen, wenn sie die Veröffentlichung von speziellen Untersuchungen ermöglichen, welche in Zeitschriften oft schon ihres Umfanges wegen gar nicht, oder zum Nachteile der Sache nur in stark gekürzter Form erscheinen können.

Gediegene Einzeldarstellungen dieser Art, von ernsten Forschern und Sachkennern herrührend, deren Leistungen nicht entschädigt werden sollen in Abhängigkeit von geschäftlichen Überlegungen, sondern durch hochherzige Sonderstifter der einzelnen Hefte, müßten sich — so hoffen wenigstens die Unterzeichneten, die an dem Unternehmen ein ausschließlich ideelles Interesse haben — neben all' dem Guten und Brauchbaren, das die Jetztzeit auf unserem Gebiete bereits bringt, immerhin als wertvoll erweisen. — A. Berson.

Herausgeber und Schriftleitung.

Ein Verzeichnis der bereits erschienenen und der in Vorbereitung befindlichen Hefte findet sich am Schluß.

Inhaltsverzeichnis.

Einleitung.

Gegenwärtiger Stand der drahtlosen Telegraphie.

Seit 1896 Marconi auf Heinrich Hertz und Branly fußend, die ersten drahtlos telegraphischen Versuche anstellte und Braun 1898 bahnbrechend die geschlossenen Kondensatorkreise in die Technik der drahtlosen Telegraphie einführte, haben Physiker und Ingenieure aller Nationen an dem Ausbau dieser Erfindung tätigen Anteil genommen.

Ungemein zahlreiche theoretische und praktische Arbeiten[1]) haben dazu beigetragen, die Methoden zur Erzeugung schneller Schwingungen zu verbessern, die allgemeinen Kentnisse über die Gesetze und Konstanten der Hochfrequenzströme zu erweitern, die Meßverfahren zu vervollkommnen und geeignetere Vorrichtungen zum Nachweis schwacher Hochfrequenzströme herzustellen.

Die bisherigen Ergebnisse dieser Untersuchungen kommen praktisch zum Ausdruck in den relativ großen Reichweiten der drahtlos-telegraphischen Stationen, in der Störungsfreiheit, mit der zahlreiche benachbarte Stationen gleichzeitig verkehren können, in den Erfolgen mit gerichteten Stationen und dem erheblich gesteigerten ökonomischen Wirkungsgrad.

Äußere Störungen des drahtlos-telegraphischen Betriebes.

Während es so gelungen ist, sehr bemerkenswerte Fortschritte hinsichtlich der Konstruktion günstig arbeitender Stationsapparate zu erzielen, blieben andererseits Erscheinungen und Vorgänge, die sich außerhalb der eigentlichen Stationsanlagen abspielen, die aber auf das ordnungsmäßige Arbeiten der Stationsanordnungen von Einfluß sind, verhältnismäßig wenig untersucht.

Die Tatsache, daß die für die Ausbreitung der Wellen erforderlichen Luftleitergebilde von einer den mannigfachsten Einflüssen unterliegenden Atmosphäre begrenzt werden, daß bei der Ausbreitung der Wellen eben diese Atmosphäre und die örtlich und zeitlich wechselnde Beschaffenheit der Erdoberfläche eine Rolle spielen, läßt allerdings das Auftreten einer Reihe besonderer Nebenerscheinungen in der Praxis der drahtlosen Telegraphie schon von vornherein erwarten.

Zwei durch derartige äußere Ursachen bedingte Erscheinungen haben in der drahtlos-telegraphischen Praxis eine wesentliche Bedeutung.

---

[1]) Eine erschöpfende Zusammenstellung dieser Literatur bis zum Jahre 1905 findet sich bei E. Nesper „Die drahtlose Telegraphie" (Berlin 1905), sowie fortlaufend im „Jahrbuch für drahtlose Telegraphie."

Tatsache der Reichweitenänderung.

Die erste dieser Erscheinungen äußert sich darin, daß die Fernwirkung ein und derselben Sendestation sehr erhebliche zeitliche Wechsel aufweisen kann, obwohl mit ungeänderter Primärenergie Wellenlänge und Stationsanlage gegeben wird. Die Zone also, auf der eine bestimmte durch ihre Antenne und Detektorempfindlichkeit charakterisierte Empfangsstation noch gerade Zeichen der Sendestation wahrnehmen kann, besitzt einen sehr verschiedenen Abstand vom Sender. Diese Erscheinung wurde schon sehr früh bemerkt und ist in zahlreichen Mitteilungen in der Tagespresse erwähnt. So konstatierte namentlich Marconi[1]) einen deutlichen Unterschied der Reichweite seiner Stationen bei Tag und Nacht; nachts gelang die Übertragung oft über das doppelte besser. Auch nach langer Trockenheit und kräftiger Sonnenstrahlung ist von mehreren Seiten eine Abnahme der Reichweite beobachtet worden[2]). Dieser Erscheinung, die im folgenden stets kurz als Reichweitenänderung bezeichnet werde, begegnet die Praxis dadurch, daß sie entweder überkonstruierte Stationen benützt, damit auch bei schlechter Übertragung die Gegenstation sicher erreicht wird[3]), oder daß sie bei sehr weit entfernten Gegenstationen zur Telegrammübermittelung diejenigen Stunden wählt, in denen erfahrungsgemäß die Übertragung am kräftigsten gelingt.

Tatsache der Empfangsstörung.

Die zweite Erscheinung ist die, daß die Empfangsanordnungen einer Station bisweilen betätigt werden, auch wenn die Antenne dieser Station nicht von den elektromagnetischen Wellen einer Gegenstation getroffen wird.

Besteht beispielsweise das Empfangsorgan aus einem Kohärer, der in der üblichen Weise mit einem Klopfer und Morseapparat verbunden ist, so verzeichnet der Morseapparat plötzlich Punkte, Punktfolgen, kurze und längere Striche, die nicht selten eine gewisse Ähnlichkeit mit Morseschrift zeigen, aber nachweislich von keiner Gegenstation herrühren. Die einlaufenden Telegramme können durch diese Störungen bis zur Unleserlichkeit entstellt werden.

Arbeitet die Empfangsstation mit einem Höhrempfänger, so äußert sich die Empfangsstörung durch einen rauschenden Ton im Telephonhörer. Man kann den Charakter des Geräusches am besten etwa so künstlich nachahmen, daß man auf der Membran eines Körnermikrophones das mit einigen Elementen und einem Telephonhörer in Serie geschaltet ist, mit einem feinen Pinselchen leiser und energischer hin- und herfährt.

Arbeitet die Gegenstation mit tönenden Funken so gelingt es, wenn die Empfangsstörung nicht zu stark ist, dem geübten Ohre leicht, den musikalischen Klang der Zeichen bei loser Koppelung aus dem sonstigen Rauschen herauszuhören.

---

[1]) G. Marconi, Electrician 49, 521, 1902; 54, 824, 1905. Weitere Literatur bei J. Zenneck, Leitfaden der drahtlosen Telegraphie 368, 119, 1909.

[2]) Eichhorn, Drahtlose Telegraphie 1904.

[3]) Telefunken arbeitet mit einem Sicherheitsfaktor von etwa dem Werte 3. K. Solff, Elektrotechnische Zeitschrift 896, 1906.

Übertrifft aber die Lautstärke der Störung die Stärke der Signale um mehr als das Zehnfache, dann ist es unmöglich, die Nachricht zu empfangen, obwohl an sich die Stärke der Zeichen für den Empfang ausreichen könnte.

In Deutschland ist diese Störung namentlich bei nicht sehr hohen Antennen, oft sehr gering und verhältnismäßig selten so stark, daß man bei loser Koppelung nicht doch, wenn auch mühsam, empfangen könnte. Beim Einschalten des Empfängers, bei plötzlichen Veränderungen der Stellung des Abstimmkondensators kann man das Geräusch wohl stets wahrnehmen. Sein Auftreten gibt dem Telegraphisten sogar das sichere Gefühl der Empfangsbereitschaft.

In anderen Ländern scheint die Störung z. T. stärker zu sein. So verdanke ich der russischen Vertretung der Firma Siemens & Halske die Mitteilung, daß die dortigen Stationen oft nur durch wenige Stunden am Tage empfangen können.

In den Tropen ist es scheinbar noch erheblich stärker. Die in Duala 1909 errichtete Antenne mußte niedergelegt werden, da oftmals über einen Zeitraum von mehr als 24 Stunden keine Empfangsmöglichkeit bestand.

Eine bestimmte Periode der Störungshäufigkeit ist ohne weiteres nicht erkennbar. Die Ursache der Empfangsstörung wurde von Anfang an in der „Luftelektrizität" gesehen. Die Benutzung speziell des Kohärers in Verbindung mit einem Luftleiter durch Popoff[1]) als eines Apparates zur Gewitterregistrierung ist ja sogar älter als die Benutzung des Kohärers durch Marconi für drahtlos-telegraphische Zwecke.

Der Mechanismus bei der Erscheinungen, der Reichweitenänderung sowohl als der Empfangsstörung ist bis jetzt von keiner Seite völlig klargelegt worden.

Erklärungsversuche der Reichweitenänderung.

Was zunächst unsere Kenntnis von der Ausbreitung der drahtlos-telegraphischen Wellen anbetrifft, die ja die erste unserer Erscheinungen in sich begreifen müßte, so reicht sie nicht aus, theoretisch den Betrag der Reichweitenänderung auf Grund der bisherigen experimentellen Daten zu erklären. M. Abraham[2]) hat im Anschluß an Maxwell und Hertz als erster eine Theorie der Ausbreitung der drahtlos-telegraphischen Wellen angegeben; er nimmt dabei die Erde als idealen Leiter, die Luft als ideales Dielektrikum an. Diese Theorie wurde dann, da sie auch hinsichtlich der Wirkungsweise gerichteter Stationen kein ganz hinreichendes Bild der tatsächlich beobachteten Erscheinungen bot, Stufe für Stufe durch Berücksichtigung des Einflusses der elektrischen Leitfähigkeit und Dielektrizitätskonstanten, des Bodens und der Atmosphäre bei den verwendeten Wellenlängen erweitert. Besonders bemerkenswerte theoretische Beiträge lieferten in dieser Richtung Uller[3]) Zenneck[4]) und Sommerfeld[5]), aber,

[1]) Popoff, Deutsches Referat in Fortschr. d. Physik 2, 387, 1896.

[2]) M. Abraham, Physikal. Zeitschr. 2, 329, 1901. Theorie der Elektrizität 2, § 34 und Enz. d. math. Wissensch. V. Art. 18.

[3]) K. Uller, Beiträge zur Theorie der elektromagnet. Strahlung, Rostock 1903.

[4]) J. Zenneck, Ann. d. Phys. 23, 846, 1907. Physik. Zeitschr. 9, 50 und 553, 1908.

[5]) A. Sommerfeld, Ann. d. Phys. 28, 665, 1909. Jahrb. der drahtlosen Telegraphie 4, 157, 1910.

wie schon bemerkt, werden die erheblichen Unterschiede in der Reichweite bei Tag und Nacht durch die Theorie auf Grund der sonst angenommenen Daten nicht gefordert.

Es herrscht offenbar in diesem Punkte ein Mangel an einschlägigen experimentellen Untersuchungen, der auch durch einige englische Beobachtungen nicht behoben erscheint. Der Praktiker muß sich bis heute mit Hypothesen begnügen. Während Marconi[1]) diesen Unterschied auf eine Energieabsorption in der durch ultraviolettes Licht kräftig ionisierten Atmosphäre sucht, glaubt Zenneck[2]) auch die Ansicht anführen zu sollen daß weniger die Absorption im Zwischenmittel als vielmehr die Verhältnisse in unmittelbarer Nachbarschaft der Antennen, speziell eine durch das Sonnenlicht begünstigte Entladung, Ursache dieser Erscheinung sein könne. Doch betont auch gerade er den hypothetischen Charakter der vorliegenden Versuche, die Ursache der Reichweitenänderung zu erklären.

Ursache der Empfangsstörung.

Erheblich besser scheint es um die Beantwortung der Frage nach der Ursache der zweiten Erscheinung, der Empfangsstörung, zu stehen; sie muß, wie schon eingangs gesagt „luftelektrischen" Ursprungs sein. Bei gewissen Wetterlagen kann man aus einer leidlich isolierten Empfangsantenne, gerade so wie Franklin aus seinem Drachenkabel, mehr oder weniger lange Funken gegen Erde ziehen. Vor Schneefall, vor und nach einem Gewitter (während eines Gewitters wird man die Antenne der Blitzgefahr wegen möglichst direkt geerdet halten), bisweilen auch ohne äußerlich ersichtliche Begleiterscheinungen beginnt die Antenne und die mit ihr verbundenen Metallteile zu sprühen. Es treten Büschelentladungen auf, und wenn die Erscheinung kräftig genug ist, starke Funkenentladungen gegen benachbarte geerdete Leiter. Diese Erscheinungen sind offensichtlich luftelektrischer Natur und gerade zu den Zeiten, an denen sie abnorm groß sind, ist auch die Empfangsstörung besonders lästig[3]). Der Praktiker sagt so auch stets: „Es ist viel Luftelektrizität da". Die meisten Vorschläge (namentlich von Marconi) zur Verringerung der Empfangsstörung gehen dahin, einmal sehr lose mit der Antenne gekoppelte Detektorkreise zu benutzen und die Antenne derart in einem Spannungsknoten an Erde zu legen, daß die Luftelektrizität ohne die Empfangsapparate zu passieren, abfließen kann. Ein Amerikaner Greenleaf Whistler Pickard[4]) gibt auch ein System an, die einzelnen Leiter des Luftdrahtgebildes durch eine Reihe von diesen parallel geführten schwingungsfähigen geerdeten Leitern, wie in einem Faradayschen Käfig einzuschließen. Da die Mitteilungen über die Empfangsstörungen nicht verstummt sind, ist anzunehmen, daß diese Mittel nicht zu ihrer Beseitigung ausreichen. Eine eingehendere experimentelle Untersuchung, welche die Kenntnisse über den Mechanismus der Empfangsstörung erweitert hätte, liegt meines Wissens nicht vor.

---

[1]) G. Marconi, Electrician 49, 521, 1902.

[2]) J. Zenneck, Leitfaden der drahtl. Telegraphie 1909.

[3]) Flaskamp, Tätigkeit der beiden funkentelegraphischen Abteilungen in Südwestafrika 1904—1907. Berlin 1910.

[4]) G. W. Pickard, Amerikanische Patentschrift 842 910.

Untersuchung des Grenzgebietes zwischen drahtloser Telegraphie und Luftelektrizität.

Da es sich nun hier bestimmt im ersten Falle nicht unwahrscheinlich um Erscheinungen handelt, die durch die atmosphärische Elektrizität bedingt werden, und gerade dieses Gebiet in den Entwicklungsjahren der drahtlosen Telegraphie infolge der radioaktiven Entdeckungen bemerkenswerte Fortschritte gemacht hat, so scheint es nicht unfruchtbar zu sein, das Grenzgebiet zwischen drahtloser Telegraphie und Luftelektrizität zum Gegenstand einer experimentellen Untersuchung zu machen. Ein wesentliches Moment für die Möglichkeit einer Klärung der einschlägigen Fragen läßt sich ferner in der Tatsache erblicken, daß sich drahtlostelegraphische Einrichtungen auf Luftfahrzeugen gut bewähren. Während allerdings für die Praxis der Luftschiffahrt und Motorluftschiffahrt die Bedeutung der Empfangsstörung und Reichweitenänderung selbst von nur ganz untergeordneter Bedeutung ist, erscheint umgekehrt die Beteiligung der Luftschiffahrt wenigstens für die Erforschung der Reichweitenänderung außerordentlich wertvoll zu sein. Ein mit quantitativ arbeitendem Empfänger ausgerüstetes Motorluftschiff bietet ein neues bisher unbekanntes experimentelles Hilfsmittel, den Charakter der Strahlung einer Station nicht nur in den verschiedenen Azimuten, sondern auch bis zu gewissem Grade in verschiedenen Elevationen mit stets identischer Anordnung festzustellen. Dieser Umstand kann zu einer einwandfreieren quantitativen Definition der Stärke einer bestimmten Sendestation unter gegebenen Verhältnissen führen und damit zu einem besseren zahlenmäßigen Vergleich mehrerer Stationen untereinander.

Alle diese Überlegungen weisen darauf hin, daß eine systematische Darstellung und Untersuchung die Beteiligung atmosphärisch-elektrischer Vorgänge, speziell bei den beiden angeführten drahtlos-telegraphischen Erscheinungen, in einigen Punkten wenigstens wird klären können.

Bei der Inangriffnahme der eigentlichen Messungen und Beobachtungen erschien es zweckmäßig, zunächst eine Scheidung nach dem Sitz der fraglichen Störungsvorgänge vorzunehmen.

Die Erscheinungen der Reichweitenänderung und der Empfangsstörung müssen entweder

in Vorgängen in unmittelbarer Nähe der Antennen ihre Ursache haben oder

sie können in einer Veränderung der Eigenschaften des Zwischenmittels Atmosphäre und Erdkörper begründet sein.

Durch diese Scheidung ergibt sich eine Unterteilung der Versuche in:

A. Nahversuche, bei denen namentlich alle Erscheinungen in den Antennenleitungen selbst in der allernächsten Umgebung der Antennenleiter und zwischen sehr nahe benachbarten Stationen, also unter möglichstem Ausschluß der Einwirkungen des Zwischenmittels beobachtet werden kann, und

B. Fernversuche, bei denen nach Möglichkeit unter Benutzung und Reduzierung auch fremden Beobachtungsmaterials mit hinreichend entfernten



Stationen am Erdboden und in der Luft der Einfluß des Zwischenmittels festgestellt werden kann.

Die vorliegende Arbeit enthält die Eregbnisse des ersten Teiles (A) dieser zwischen Frühjahr 1909 und Frühjahr 1911 in Gräfelfing angestellten Experimentaluntersuchung [1]).

Da es sich bei diesen Versuchen als gewiß herausstellte, daß die Vorgänge in der unmittelbaren Nachbarschaft der Antenne im wesentlichen nur für die Empfangsstörung maßgebend sind und auf die Reichweitenänderung praktisch einflußlos bleiben, so ist dieser Teil der Untersuchung unter dem Titel „Empfangsstörung" mitgeteilt.

Die experimentellen Vorarbeiten für die Untersuchung (B) wurden im Oktober 1910 begonnen. Durch das Entgegenkommen der K. B. meteorologischen Zentralstation ließ es sich ermöglichen, daß sehr exponiert, also für Untersuchungen dieser Art gerade recht günstig gelegene Zugspitzobservatorium als Fernstation zu erhalten. Die am 21. Oktober 1910 angestellten Probeversuche ergaben guten Signalempfang von Gräfelfing (ca. 85 km) und Norddeich (700 km). Hinsichtlich der Reduktion von Stationsstärken gab eine Probefahrt auf dem Zeppelinluftschiff „Schwaben" die Gewähr, daß sich quantitativ auf einem Luftfahrzeug empfangen läßt. Der definitive Beginn der experimentellen Arbeiten erfolgte im Herbst 1911 und das Material soll nach Abschluß der Registrierungen und Prüfung der sonstigen Beobachtungen gegen Frühjahr 1913 als zweiter Teil der Gesamtarbeit veröffentlicht werden.

---

[1]) Literatur konnte im allgemeinen auch nur bis zu diesem Zeitpunkt berücksichtigt werden (Anm. bei der Korrektur).

Nahversuche (Empfangsstörung).

Luftelektrische Tatsachen.

1. Elektrostatisches Erdfeld.

Die luftelektrischen Erscheinungen, die für eine drahtlos telegraphische Station mit ihrem Luftleitergebilde von Einfluß sein können, dürften im wesentlichen in folgenden Tatsachen bestehen.

In den unteren Kilometern der Atmosphäre besteht ein elektrostatisches Feld. Die Erde erscheint bis auf seltene Ausnahmen negativ elektrisch geladen gegenüber der Atmosphäre. Die Richtung der elektrischen Kraftlinien steht im allgemeinen senkrecht zur Erdoberfläche, fällt also mit der Lotlinie zusammen. Die die Kraftlinien überall senkrecht schneidenden Niveauflächen gleichen Potentiales oder Äquipotentialflächen verlaufen demnach im allgemeinen parallel zum Erdboden. Der Spannungsunterschied pro Meter Erhebung wird als das Potentialgefälle bezeichnet. Der Wert des Potentialgefälles in der Nähe des Bodens ist im Sommer ca. 100 Volt/Meter, im Winter 300 Volt/Meter und ändert sich mit der Höhe nur um an dieser Stelle zu vernachlässigende Beträge. Er unterliegt periodischen täglichen und jährlichen Schwankungen und zeitweisen Störungen. Da die Potentialflächen nach Möglichkeit die Unebenheiten des Bodens auszugleichen suchen (vgl. Skizze 1) und sich über Erhebungen zusammendrängen, über Senkungen größere Abstände haben als in der Ebene, so sind hier die Werte des Potentialgefälles größer resp. kleiner als in der Ebene.

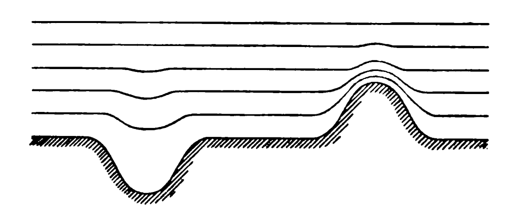


Abb. 1. Potentialflächen über Hebungen und Senkungen.

2. Ionisation, Leitfähigkeit.

Die Luft besitzt elektrische Leitfähigkeit. Von den an sich elektrischneutralen Gasmolekülen wird durch äußere Ursachen ein Bruchteil durch Abspaltung des elektrischen Elementarquantums zu positiven Ionen, während die freien negativen Ladungen, die Elektronen, allein oder nach Anlagerung an ein neutrales Molekül als negative Ionen bezeichnet werden. Unter dem Einfluß

des elektrostatischen Feldes wandern diese Ionen mit einer spezifischen Wanderungsgeschwindigkeit und transportieren so ihre Ladungen. Die hierdurch auftretende Leitfähigkeit λ ergibt sich als

$$\lambda = \varepsilon\left(\overset{+}{n}\overset{+}{v} + \overset{-}{n}\overset{-}{v}\right) \text{ st. E.},$$

worin n die Zahl der Ionen pro cm^3 angibt, je nach dem Index positiven oder negativen Vorzeichens; v entsprechend die spezifische Geschwindigkeit, also die Geschwindigkeit in $\frac{cm}{sec}$ bei einem Gefälle von $\frac{1 \text{ st. E.}}{cm}$ und ε die Ladung des Elementarquantums bedeutet.

ε besitzt den Wert von etwa $4{,}7 \times 10^{-10}$ st. E. Die Zahl der beweglichen Ionen in den unteren Metern der Atmosphäre $\overset{+}{n}$ und $\overset{-}{n}$ beträgt ca. je 1000, wobei aber $\overset{+}{n}$ im allgemeinen etwas größer ist als $\overset{-}{n}$. Die spezifische Geschwindigkeit $\overset{+}{v}$ und $\overset{-}{v}$ ist, von der der sehr trägen sogenannten Molionen abgesehen, der Größenordnung nach $1 \frac{cm/sec}{Volt/cm}$ oder hat bei Einführung der elektrostatischen Spannungseinheiten rund den Wert 300 (im allgemeinen ist $\overset{-}{v}$ größer als $\overset{+}{v}$). Daraus berechnet sich der Betrag der Leitfähigkeit seiner Größenordnung nach als

$$\lambda = 4{,}7\,(1000 \,.\, 300 + 1000 \,.\, 300) \,.\, 10^{-10}$$
$$\sim 3{,}0 \,.\, 10^{-4} \text{ st. E.}$$

Treffen entgegengesetzt geladenen Ionen zusammen, so erfolgt Wiedervereinigung und Neutralisation. Besteht in einem Luftvolumen, das gleichviel positive und negative Ionen enthalten möge, ein stationärer Zustand, d. h. ist die Zahl der pro sec neugebildeten Ionen gerade so groß wie die Zahl der durch Wiedervereinigung verschwindenden, so besteht die Beziehung

$$n = \sqrt{\frac{q}{\alpha}},$$

wobei q die Ionisierungsstärke und α den Koeffizienten der Wiedervereinigung bedeutet.

3. Vertikaler Leitungsstrom.

Unter dem Einfluß des atmosphärischen Potentialgefälles und der Leitfähigkeit der Luft entsteht in der Atmosphäre eine elektrische Strömung. Positive Elektrizität fließt, entsprechend der Richtung des Gefälles, aus der Atmosphäre gegen Erde. Die Stromstärken sind relativ klein. Bei einem Potentialgefälle von 100 Volt/Meter oder $^1/_{300} \frac{\text{st. E.}}{cm}$ und einer Leitfähigkeit von $\lambda = 3 \,.\, 10^{-4}$ st. E. wird ein Strom i auftreten von

$$i = 3 \,.\, 10^{-4} \,.\, \frac{1}{300} = 1 \,.\, 10^{-6} \text{ st. E.}$$

oder in elektromagnetischem Maß von $3{,}3 \,.\, 10^{-16} \frac{\text{Ampere}}{cm^2}$. Man bezeichnet diesen Strom als den vertikalen Leitungsstrom.



4. Radioaktive Stoffe in der Atmosphäre.

Als Ursache der Ionisation der Atmosphäre kommt bis zu einem gewissen Betrage der Gehalt der Luft an radioaktiven Substanzen in Frage. Die im Erdboden verbreiteten radioaktiven Stoffe: Radium, Thorium und Aktinium entwickeln gasförmige radioaktive Emanationen, die sich in der Atmosphäre verbreiten und in die radioaktiven Induktionen umwandeln. Die Aktiniumemanation spielt wegen ihrer Kurzlebigkeit (Halbwertszeit 3,9 sec.) nur eine untergeordnete Rolle. Diese Induktionen müssen sich bis zu einem gewissen Betrage (Ra A, Th A) wie positive Ionen verhalten, wenigstens lassen sie sich auf negativ geladenen Leitern niederschlagen und anreichern.

5. Hallwachseffekt.

Endlich sei als bemerkenswerte Tatsache noch der Hallwachseffekt aufgeführt, der bekanntlich darin besteht, daß zahlreiche Metalle — und auch andere Körper — unter dem Einfluß des Lichtes eine negative Ladung mehr oder weniger rasch verlieren.

Disposition der Untersuchung.

Auf Grund dieser Tatsachen gliedert sich die eigentliche Untersuchung zunächst in die folgenden Teiluntersuchungen.

I. Wie stören die verschiedenen Antennengebilde das elektrostatische Erdfeld? Welche Spannungsgefälle herrschen in der Nachbarschaft der einzelnen Teile der Antenne?

II. Welche Leitfähigkeit hat die Luft in der Nachbarschaft der Antenne? Diese Leitfähigkeit muß wegen der auf den Antennendrähten niedergeschlagenen radioaktiven Induktionen größer als die normale sein. (Dieser Teil der Experimentaluntersuchung wurde von Herrn Kandidaten Kernstock selbständig ausgeführt).

III. In welchem Betrage dient das Luftleitergebilde dazu, den vertikalen Leitungsstrom zu führen? Wie groß sind die gegen Erde gerichteten Stromstärken und wie hängen sie von I und II ab?

IV. Verursachen die aktiven Niederschläge von II oder der Hallwachseffekt eine Energie-Absorption?

Wie schon in der vorläufigen Mitteilung über die drahtlos-telegraphische Empfangsstörung erwähnt wurde[1]) ließen die bis dahin gefundenen Versuchsergebnisse es als aussichtsvoll erscheinen, eine Schutzvorrichtung gegen die Empfangsstörung an der Antenne auszubilden. Es bezieht sich also ein fünfter und letzter Teil auf die

V. experimentelle Untersuchung eines Antennenschutzsystemes.

Da die gesamte Untersuchung nach Möglichkeit den tatsächlichen praktischen Verhältnissen der drahtlosen Telegraphie Rechnung tragen sollte, so wurde der Ver-

[1]) Dieckmann, Funkentelegr. Empfangsstörung, Sitzungsber. der Kgl. Bayr. Akademie der Wissenschaften. Math. Physik. Klasse, Jahrg. 1910, 7. Abh.



suchsaufbau tunlichst ohne Maßstabsverkleinerungen ausgeführt. Die sich hieraus ergebende Anlage erforderte bei der Aufstellung und Instandhaltung mancherlei Geduldsproben und viele größere und kleinere technische Nebenarbeiten, zumal zahlreiche Apparate nicht fertig bezogen sondern aus Ersparnisgründen erst in den Werkstätten des Physikalischen Institutes der technischen Hochschule hergestellt und dann an Ort und Stelle in Gang gebracht werden mußten. Wo es irgend anging, wurden die Meßverfahren automatisch registrierend eingerichtet. Es hat sich nicht vermeiden lassen, daß diese erste Darstellung und Untersuchung an vielen Stellen mehr quantitativ geblieben ist und daß mehrere Punkte eine eingehendere Nachprüfung auch von anderer Seite wünschenswert machen.

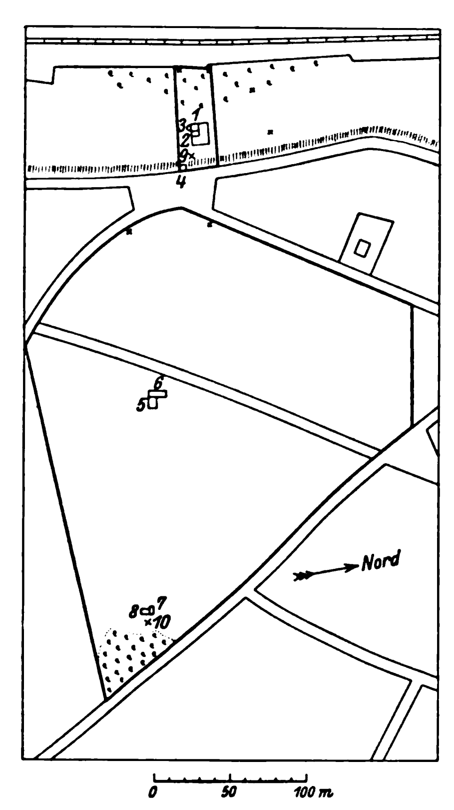


Abb. 2. Situationsplan.

Beschreibung der Anlage.

Lage der Versuchsstation.

Der Versuchsaufbau wurde im wesentlichen im Frühjahr und Sommer 1909 etwa 10 km südlich von München bei Gräfelfing fertiggestellt. Der Ort Gräfelfing liegt in dem hier über 2 km breiten, ebenen, von nur wenige Meter hohen Böschungen begrenzten Würmtal. In der unmittelbaren Nähe eines auf dem westlichen Hang gelegenen dem Verfasser gehörigen Anwesens von ca. 1600 m² wurde eine völlig ebene Wiese von ca. 19 000 m² gepachtet. Der Situationsplan der Anlage ist aus Abbildung 2 zu erkennen. Zur Unterbringung der verschiedenen Anordnungen und Hilfsmittel wurden außer 3 kleinen Souterrainräumen (1, 2 und 3) des erwähnten Anwesens an der Bergstraße fünf Hilfsschuppen (4, 5, 6, 7 und 8) und zwei große (9 und 10) sowie mehrere kleinere Holzmasten zur Befestigung der Luftdrahtgebilde aufgestellt.

Maschinenraum, Werkstatt und Dunkelkammer.

Das Gelaß 1 (vgl. Abb. 3) enthält den Maschinenraum. Da nur Dreiphasenstrom von 110 Volt Spannung, die dem Grundstück durch ein im Boden verlegtes Kabel zugeleitet werden, zur Verfügung steht, ist eine kleine Umformeranlage bestehend aus einem Drehstrommotor von 2 PS einer Gleichstromdynamo nebst Schaltbrett aufgestellt. Die Gleichstrommaschine liefert entweder 220 Volt Spannung oder sie kann mit geringerer Tourenzahl laufend zum Aufladen einer Akkumulatorenbatterie benützt werden. Die stationäre Akkumulatorenbatterie steht in einem

mit besonderem Entlüfter versehenen Schrank und umfaßt 12 Zellen von 54 Amperestunden bei 18 Ampere maximaler Entladung. An diesem Schrank befindet sich auch die Ladevorrichtung für die sonst benötigten transportablen, in tragbaren Holzkästen montierten, Zellen.

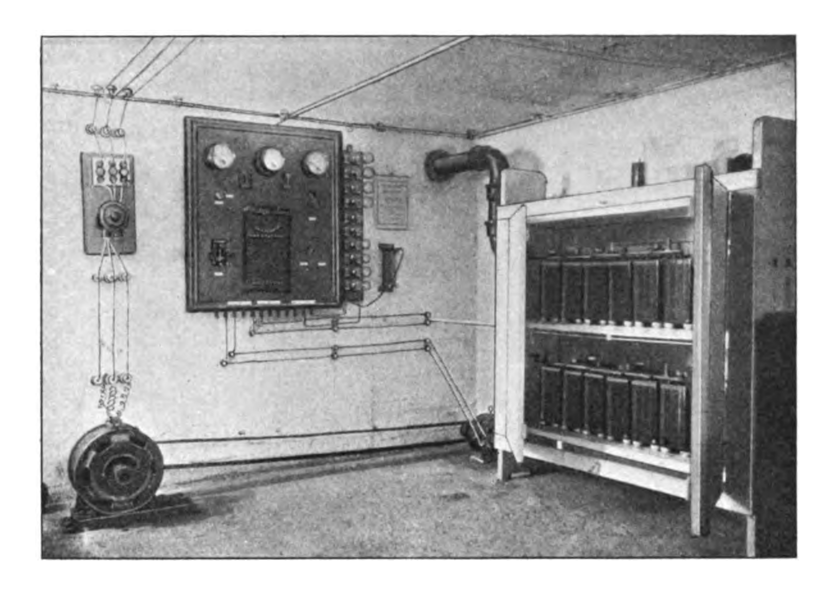


Abb. 3. Maschinenraum.

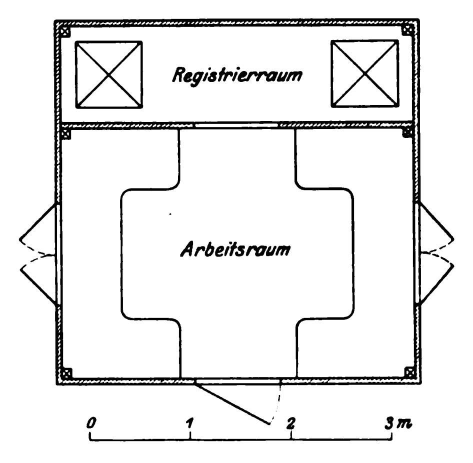


Abb. 4. Grundriß von Schuppen 4.

Der anstoßende Raum 2 enthält die kleine Werkstatt. Er ist ausgerüstet mit einer Hobelbank, Drehbank, einem Werkzeugschrank und den zur Anfertigung kleinerer mechanischer Arbeiten notwendigen Werkzeugen und Materialien.

In dem Raume 3 endlich ist die photographische Dunkelkammer untergebracht. Sie ist, da ein wesentlicher Teil der Untersuchungsresultate durch photographische Registrierungen gewonnen wurde, möglichst bequem eingerichtet.

Hauptversuchsschuppen mit Sendern, Empfängern und Registrierraum.

Vom Maschinenraum aus führen 8 Freileitungen zu dem Holzschuppen 4. Er liegt am Fuße des etwa 7 m hohen Hanges, auf dem das Anwesen steht und enthält den Hauptuntersuchungsraum. Wie die Grundrißskizze Abb. 4 erkennen läßt, ist er an den Wänden rings mit Holztischen versehen; eine durch lichtdichten Doppelvorhang geschlossene Tür führt in den verdunkelten Registrierraum. An den

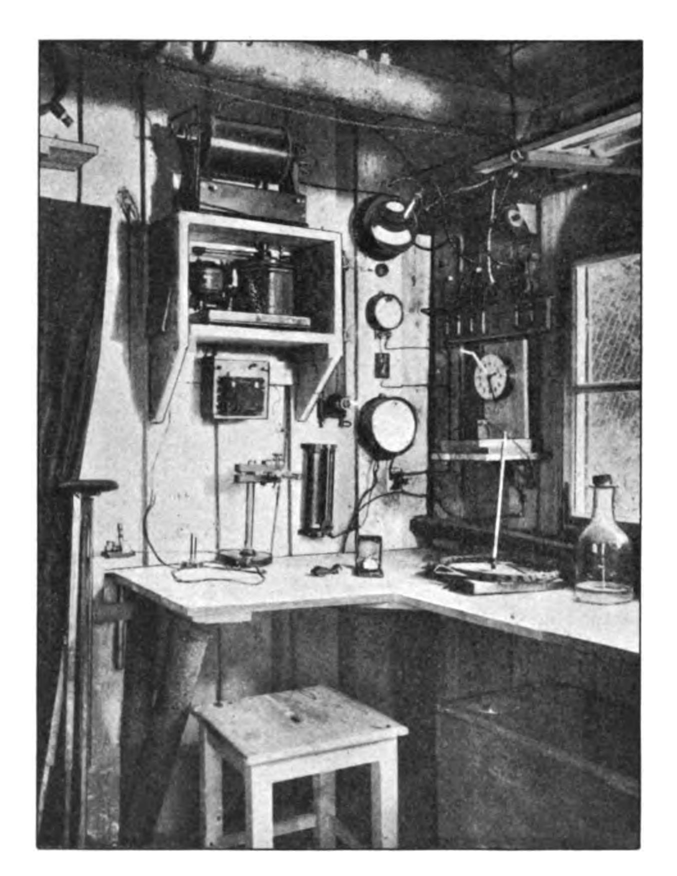


Abb. 5. Turbine, Induktor u. Kontaktuhr.

Wänden und an der Decke des Hauptraumes sind, zum Teil fest montiert, zwei komplette drahtlostelegraphische Sendeanordnungen nach Braun und Wien sowie drei komplette Empfangsanordnungen aufgestellt. Die Abbildungen 5 bis 8 geben die einzelnen Apparate wieder.

Die Sendeanordnungen nach Braun (Skizze 9) arbeitet mit 24 Volt Gleichstrom. Der Akkumulatorenstrom wird durch eine mit Wechselstrommotor betriebene AEG-Quecksilberturbine unterbrochen und einem Klingelfußschen Induktorium von 15 cm Schlagweite zugeführt. Die Sekundärklemmen desInduktors stehen mit der Zinkkugelfunkenstrecke eines geschlossenen Schwingungskreises

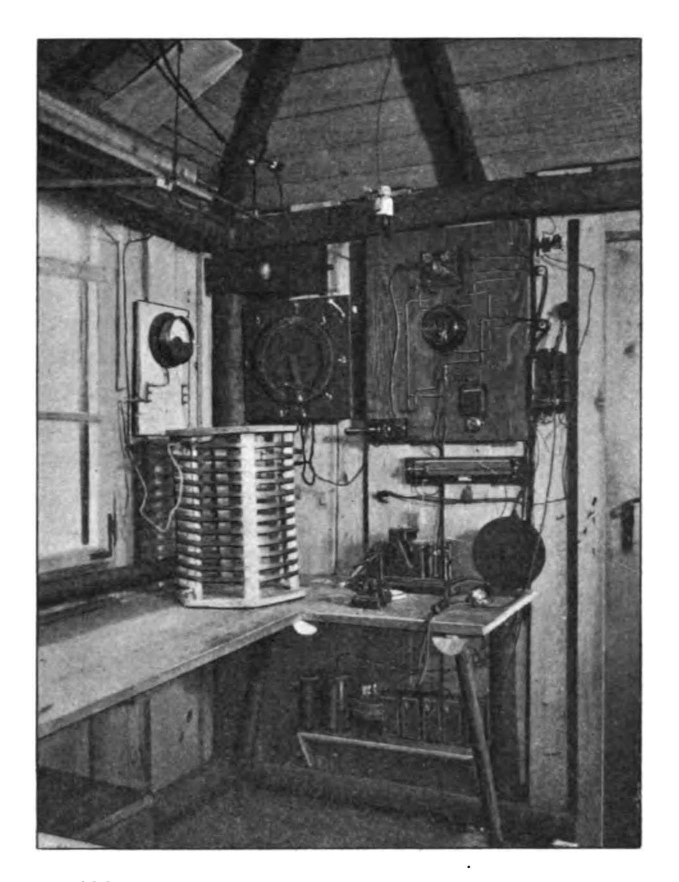


Abb. 6. Kleine Sende- u. Empfangsanordnung.

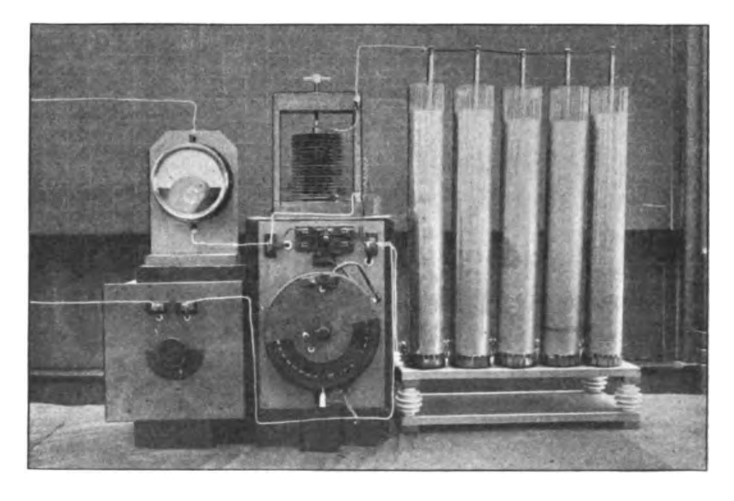


Abb. 7. Sender für Stoßerregung.

in Verbindung, der aus zwei in Serie geschalteten auf einem Deckengestell befestigten Leydener Flaschen von je 5000 cm Kapazität und einer bis 35 000 cm beliebig stöpselbaren Selbstinduktionsspule, die gleichzeitig zur direkten Koppelung auf die Antenne dient, gebildet wird. In der Antennenleitung liegt noch eine stetig variabele toroidförmige Verlängerungsspule, und gegen Erde ein Hartmann- und Braunsches Hitzdrahtwattmeter. Die Sendeanordnung arbeitet im allgemeinen mit einer Primärenergie von nur 160 bis 170 Watt. Der Strom zum Induktor kann entweder durch einen Morsetaster oder, für Registrierbetrieb, durch eine Kontaktuhr geschlossen werden. Die letztere ist so eingerichtet, daß alle halbe oder volle Stunden zwei mit dem Stundenzeiger verbundene Platinstreifen ca. 2 Minuten lang zwischen zwei mit Quecksilber gefüllten Rinnen, an denen die Zuleitungsdrähte liegen, Verbindungen herstellen[1]). Die in die Antenne gehende Energie kann mit einer an anderer Stelle beschriebenen Anordnung registriert werden.

Die Schaltskizze 10 zeigt die andere und bedeutend stärkere Sendestation, die in zahlreichen Einzelheiten den mit Wienscher Stoßerregung arbeitenden tönenden Funkenstationen der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie[2]) nachgebildet ist. Als Primärenergie dienen zwei Phasen des Drehstromes. Mit Hilfe eines im Registrierraum untergebrachten Lahmeyerschen Transformators für 7 KW

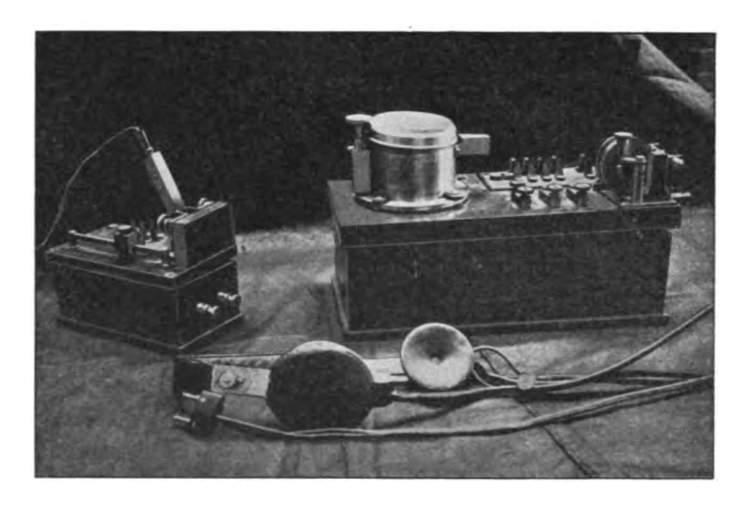


Abb. 8. Empfänger mit Fritter- u. Schloemilchzelle.

kann die Spannung auf 9000 Volt hinauftransformiert werden. Als Funkenstrecke dient eine Serienfunkenstrecke mit Kupferelektroden, die durch Glimmerringe von je 0,2 mm Stärke getrennt werden. Zur Vermeidung von Gleitfunkenbildung sind die Platten, dort wo der Glimmerrand eine Brücke bilden würde, rinnenförmig ausgedreht. Die Kupferplatten werden durch größere Messingplatten luftgekühlt. Durch federnde Messingbügel kann eine beliebige Anzahl der Funkenstrecken kurzgeschlossen werden. Auch diese Funkenstrecke schließt sich an die von der Gesell-

---

[1]) Ebert und Kurz, Abhandl. der Kgl. Bayr. Akademie der Wissensch., XXV. Bd., 2. Abh., 13, 1909.

[2]) Graf Arco, Elektrotechn. Zeitschr., Heft 23 u. 24, 1909.



schaft für drahtlose Telegraphie ausgearbeiteten Anordnung strenge an. Der Stoßkreis besteht aus einer Batterie von maximal 8 parallel geschalteten Leydener Flaschen und einem Variometer, das die Rhendalsche Konstruktion nachahmt. Die Felder von 4 aus Kupferband hergestellten Spulen, von denen je zwei ähnlich einer 8 angeordnet sind, können so übereinandergebracht werden, daß sie sich entweder verstärken oder schwächen. Außerdem können die Spulen entweder parallel oder in Serie geschaltet werden. Dieses Variometer dient gleichzeitig zur relativ festen Koppelung des Stoßkreises mit der Antenne. In der Antennenleitung liegt ferner einmal eine stufenweis veränderliche Verlängerungsspule und zweitens ein die Stufen überbrückendes Variometer, das aus zwei ineinanderliegenden Kreisspulen besteht, von denen die eine sich um einen gemeinsamen Durchmesser um

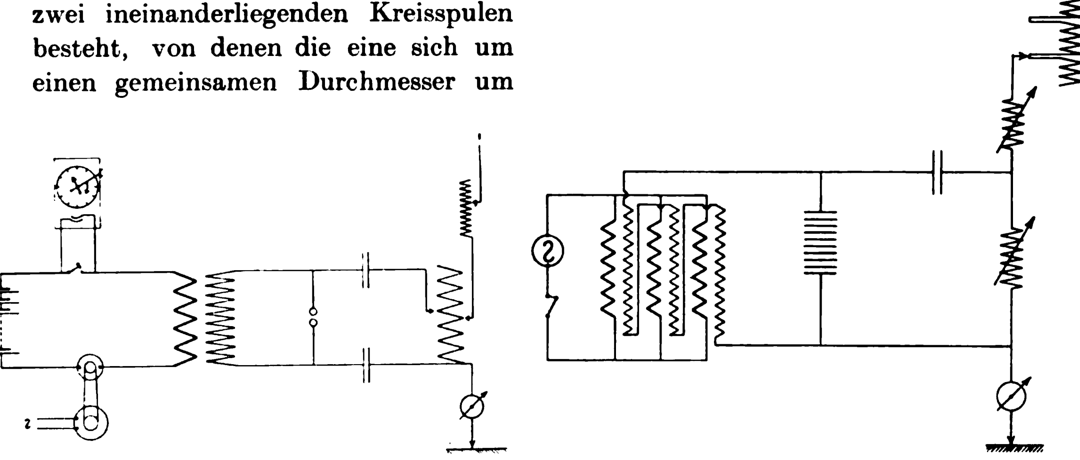


Abb. 9. Schema des Braunschen Senders. Abb. 10. Schema des Senders für Stoßerregung.

180° drehen läßt. In der Erdleitung liegt ein großes Hartmann und Braunsches Hitzdrahtamperemeter. Der stetig variable Wellenlängenbereich geht bis 2400 m. Gegeben wird mit einem großen Morsetaster. Die Primärenergie beträgt maximal 5 KW. Bei einer Antennenstromstärke von ca. 13 Ampere hat die Station eine Sende-Reichweite von 300—400 km.

Von den Empfangsanordnungen ist die erste ein einfacher Kohärerempfänger mit Klopfer, Relais und Morseschreiber. Die Anordnung kann entweder direkt in der Popoffschen resp. ursprünglichen Marconischaltung oder unter Verwendung einer Abstimmspule und eines Kondensators in Braunscher Schaltung benutzt werden.

Der zweite Empfänger ist ein kompletter Hörempfänger mit elektrolytischem Detektor der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie.

Die dritte Anordnung endlich ist den neueren Höhrempfängern der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie nachgebildet (Abb. 11). Als Empfangsorgan dient ein Graphit-Bleiglanzthermodetektor. Mit Hilfe stufenweiser Selbstinduktionsspulen und eines variabeln Luftkondensators kann auf jede beliebige Wellenlänge zwischen 150 und 2300 m abgestimmt werden. Der primäre Kreis induziert in sehr loser variabeler Koppelung auf den aperiodischen Kreis, parallel zu dessen Kondensator

ein 1000 Ohmiger Telephonhörer liegt. Mit diesem Empfangsapparat werden die Signale von Nauen, Norddeich, Paris usw. mit relativ großer Lautstärke zuverlässig empfangen.

Außerdem enthält dieser Raum die erforderlichen Schalter, Rheostaten, Sicherungen, Volt- und Amperemeter, Antennendurchführungen, Blitzsicherung usw.

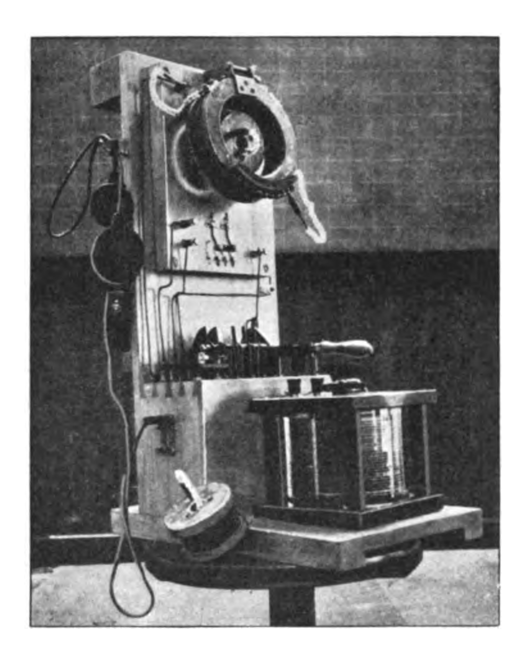
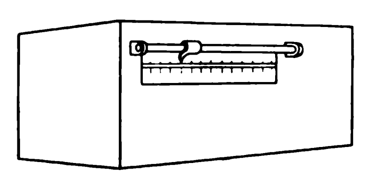


Abb. 11. Moderner Hörempfänger nach Telefunken.

sowie auf einem Gestell eine Reihe von Hilfsinstrumenten, die Anordnungen zur Wellen- und Dämpfungsmessung und einen Arbeitsplatz für radioaktive Untersuchungen.

In dem anstoßenden Registrierraum befinden sich außer dem erwähnten, großen Lahmeyerschen Transformator zwei von der Dielung unabhängige Betonsockel. Der eine von ihnen trägt auf einem schweren, eisernen, dreibeinigen Stativ



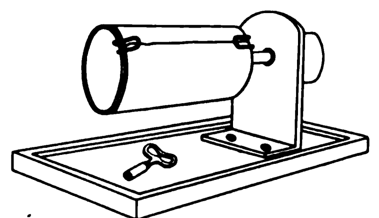


Abb. 12. Registriertrommel.

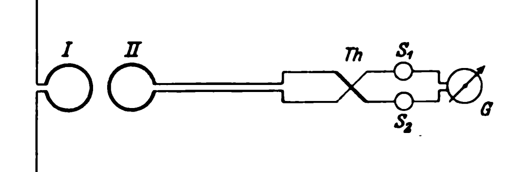


Abb. 13. Kontrolle der Antennenstromstärke.

zwei Edelmannsche Drehspulspiegelgalvanometer. Diesen gegenüber sind in 2 m Entfernung zwei vertikale Spaltlampen mit verstellbaren Linsen und eine in

24 Stunden einmal umlaufende, durch einen mit Schlitz versehenen Kasten abgedeckte, horizontalgelagerte Registriertrommel[1]) (Abb. 12) angebracht. Mit Hilfe zweier Drahtklammern kann die Trommel mit einem Blatt Bromsilberpapier von 18 × 24 cm bezogen werden. Die von den Galvanometerspiegeln reflektierten, durch den Deckelschlitz punktförmig abgeblendeten Spaltbilder treffen die lichtempfindliche Schicht und ergeben nach der Entwicklung zwei Kurven, die den jeweiligen Ablenkungsbetrag der Galvanometer von der Ruhelage erkennen lassen. Da der Trommelumfang ca. 24 cm beträgt, entspricht auf den Blättern dem Zeitraum einer Stunde etwa 1 cm Abszissenlänge.

Das eine der hier aufgestellten Galvanometer hatte dauernd den Zweck, den Betrag der von der Antenne beim Senden ausgestrahlten Energie zu registrieren. Zu diesem Zwecke war die in Skizze 13 angegebene Schaltung gewählt. Die Antennenleitung bildet, ehe sie die Deckendurchführung erreicht, eine Schleife I, der mit Hilfe eines einfachen Koppelschiebers [2]) eine aus mehreren Windungen bestehende Schleife II in fest fixierbarem Abstand gegenüber gebracht werden kann. Die Enden dieser Schleife II stehen durch engparallele Zuleitungen, in die noch 2 Selbstinduktionsspulen S_1 und S_2 eingeschaltet sind, damit die Induktanz groß gegen den Ohmschen Widerstand werde, mit einem guteingebauten Brandesschen evakuierten Thermoelement in Verbindung. Die beiden anderen Pole des aus je 0,02 mm Eisen- und Konstantendraht gebildeten Thermokreuzes liegen über zwei Drosselspulen D_1 und D_2, die der Hochfrequenz den Weg versperren sollen, am Galvanometer G. Der Ausschlag des Galvanometers ist also proportional dem Quadrat des in der Antenne fließenden Stromes. Er gibt bei konstant gehaltenen Verhältnissen ein relatives Maß der in der Antenne schwingenden Energie und damit ein relatives Maß der von der Antenne ausgestrahlten Energie.

Antennenmast.

Zwischen dem Schuppen 4 und dem Anwesen steht auf der Mitte der Böschung der Antennenmast 9 (vgl. Abb. 2). Er besaß ursprünglich eine Höhe von 39 m und bestand aus einem, durch Stahldrahttaue verankerten, 30 m langen Untermast, auf dem oben eine schwächere Stange mit einer kleinen Querrahe angebracht war (vgl. Abb. 14). Die Querrahe trug 6 Blöcke mit eingeschorenen Enden, so daß die verschiedenen Antennengebilde usf. aufgeheißt werden konnten. Im Winter 1909—1910 wurde infolge heftiger Stürme die Stange defekt, und es wurde im Frühjahr 1910 eine neue solidere Mastverlängerung aufgebracht (vgl. Abb. 14b). Der Mast besitzt nunmehr eine Höhe von 42,3 m, oder, da sein Fußpunkt einige Meter erhöht liegt, von ca. 46 m über der Talsohle. Mit zur Vorbereitung auf die in Aussicht genommenen Fernversuche wurde er diesmal mit einer 13 drähtigen Schirmantenne aus Phosphorbronzedraht von 3,0 mm Durchmesser bespannt. Die je 30 m langen Drähte sind oben an einer großen Deltadoppelglocke mit Schirm befestigt

[1]) H. Ebert u. Kurz, Abhandl. der Kgl. Bayr. Akademie der Wissenschaften, XXV. Bd., 2. Abh., 13, 1909.

[2]) Dieckmann, Dissertation, Straßburg 1907, S. 9.

und unter Zwischenschaltung geeigneter Porzellanisolatoren mit geteerten Hanftauen an sechs in 45 bis 70 m Entfernung aufgestellte Nebenmasten von ca. je 11 m Höhe geführt (vgl. Skizze 15). Jeder Nebenmast trägt auf seiner Spitze gleichfalls eine große Deltaglocke, so daß der Isolationszustand des Luftdrahtgebildes im allgemeinen gut war. Die Zuleitung vom Schuppen erfolgt durch vier in einigen cm Abstand geführte Phosphorbronzedrähte. Da in Rücksicht auf ein Nachbargrundstück die Antenne nicht symmetrisch verspannt werden konnte, wurde es notwendig, das Kräftepolygon durch Anbringung von Stahlseilen zu schließen. Außer diesen Gegenzugseilen waren noch zahlreiche an acht schwere Betonklötze und zwei Meter tief vergrabene Anker geführte, mit Porzellaneiern mehrfach unterteilte Verspannungen erforderlich. An dem ganzen Mast sind somit gegen 3 km Material verspannt. Mehrere in verschiedener Höhe angebrachte Blöcke und eine in ca. 28 m Höhe befestigte 8 m lange Rahe ermöglichen die Aufbringung beliebiger Hilfsanordnungen.

Abb. 14 (a und b). Alter und neuer Antennenmast 9.

Abb. 15. Projektion der Schirmantenne.

Die Erdleitung des Schuppens ist dreifach unterteilt. Die drei Leitungen können getrennt oder gemeinsam angeschlossen werden. Einmal dient als Erdung eine in das Grundwasser geführte 0,5 m² Kupferplatte, dann die Wasserleitung und endlich ein mehrfach ca. 20 cm tief gegrabenes und mit den Erdankern in Verbindung gebrachtes Netz von verschiedenen Drahtsträngen, an das auch der Drahtzaun, der das Grundstück an einer Seite begrenzt, angehängt werden kann.

Dieses Antennengebilde in Verbindung mit den im Schuppen untergebrachten Sende- und Empfangsapparaten stellt eine drahtlos telegraphische Station verhältnismäßig großer Leistungsfähigkeit, die mehrfach u. a. speziell gegen die Militärstationen erprobt wurde, dar. Die Station ist als solche unter Auflage gewisser Betriebsbedingungen für Versuchszwecke staatlich konzessioniert.

Ballonschuppen, Materialschuppen.

Etwa 180 m östlich von dem Schuppen 4 in der Mitte der gepachteten Wiese liegen der Ballonschuppen 5 und der Materialschuppen 6 (Abb. 2). Der Ballonschuppen (Abb. 16) enthält den aus gummierter Seide nach dem Finsterwalderschen

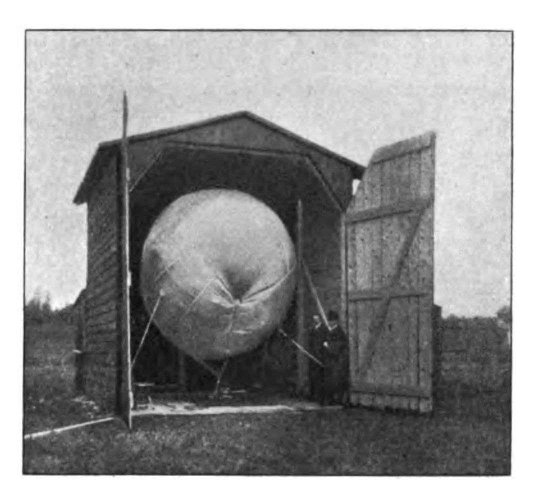


Abb. 16. Ballonschuppen.

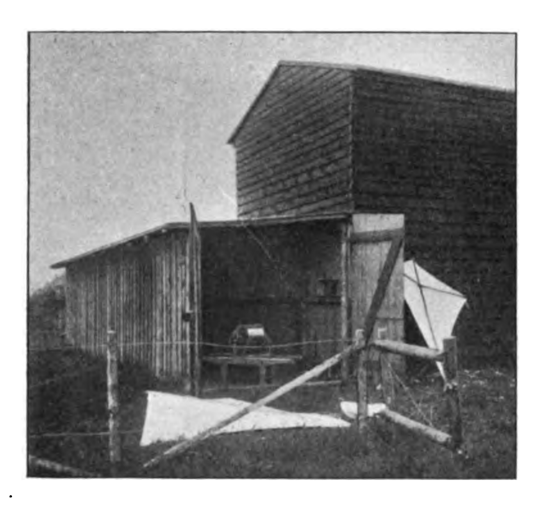




Abb. 17. Abb. 18.
Ballon- und Materialschuppen.

Schnitt hergestellten 17 m³ Kugelballon für luftelektrische Potentialmessungen. In dem anschließenden 12 m langen Materialschuppen (Abb. 17 und 18), der durch eine Öffnung mit dem Ballonschuppen in direkter Verbindung steht, ist zahlreiches Hilfsinventar aufbewahrt, u.a. die Wasserstoffflaschen für den Ballon, zwei weitere Ballonhüllen, zwei Drachen, drei hochisolierende Ballonwinden[1]), Meßgestänge, Beobachtungstische, Hocker u.s.f.

[1]) Dieckmann, Physikal. Zeitschr., 10. Jahrg. 832, 1909; Verh. der Physikal. Gesellschaft, XI. Jahrg., 699, 1909.

Registrierschuppen, Arbeitsschuppen, zweiter Mast.

Am östlichsten Punkte der Wiese, neben einem kleinen Fichtenwäldchen, liegt der Registrierschuppen 7 mit einem Arbeitsraum 8 und dem Mast 10 (Abb. 2).

Der Registrierschuppen ist durch eine Oberleitung von Nord-Westen her an das Drehstromnetz der Isarwerke angeschlossen. Er enthält ein registrierendes

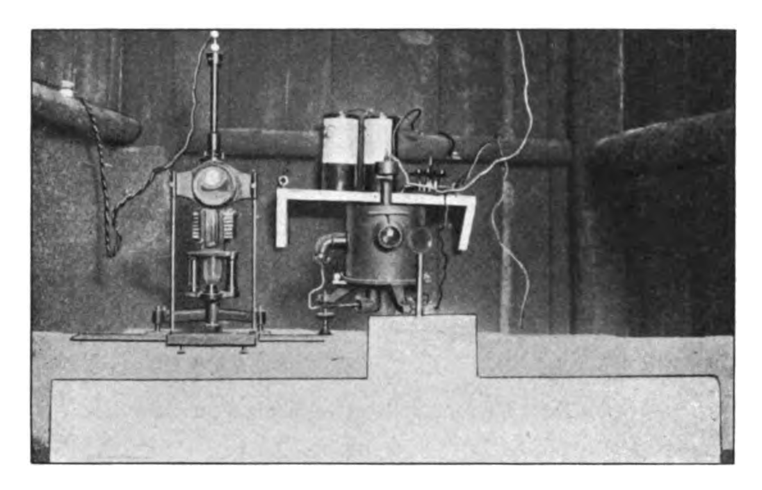


Abb. 19. Galvanometer u. Elektrometer.

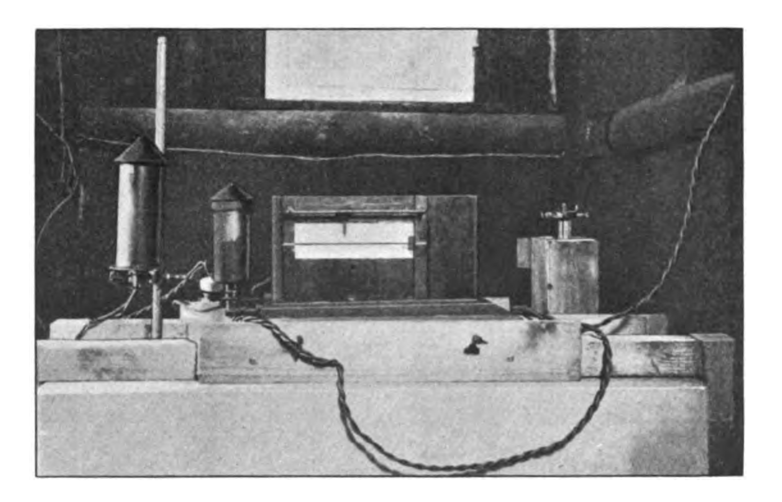


Abb. 20. Registriertrommel u. Spaltlampen.

Elektrometer und Galvanometer. Zu dem Zwecke sind zwei große Betonpfeiler in 2 m mittlerem Abstand aufgestellt. Der eine (Abb. 19) trägt ein von Ebert angegebenes Quadrantenelektrometer mit Induktionsdämpfung[1]), ein Edelmannsches Spiegelgalvanometer nebst zwei Linsen; der andere (Abb. 20) trägt zwei Spaltlampen und die Registriertrommel.

[1]) Ebert, Zeitschr. für Instrumentenkunde, 29, 169, 1909.



Das Elektrometer dient zur Registrierung des Potentialgefälles. Diese Potentialmeßanordnung war das Schmerzenskind der gesamten Anordnung. Sie hat während der Versuche zahlreiche Abänderungen erfahren, ohne daß eigentlich bis zum Abschluß der Arbeit stets mit Sicherheit auf ein richtiges Funktionieren zu rechnen war. Dabei sei betont, daß das vorzüglich gedämpfte Elektrometer sich durchaus bewährte. Ein Teil der Untersuchung wurde auch mit einem Quadrantenelektrometer von Leppin und Masche ausgeführt, das gleichfalls keine Nachteile zeigte. Die Störungen lagen fast stets in der Isolation des Kollektors und der Deckendurchführung. Die zuletzt meist benutzte Anordnung zeigt das Schaltschema 21. Der Kollektor, ein mit Polonium (Ra F) elektrolytisch überzogenes Platinblech P von ca. 14 cm^2 Oberfläche, ist in einer kleinen offenen „Laterne" L auf einem 11 m hohen Mast neben dem Schuppen angebracht. In niederen Höhen unmittelbar neben dem Schuppen waren wegen des benachbarten Antennenmastes 10 die Gefällwerte ungünstig klein; zeitweise befand sich auch ein Kollektor in etwa 37 m Höhe über dem Boden. Die Art der Isolation läßt sich aus der Skizze erkennen. Der in seiner Höhe h verstellbare Laternenhalter sitzt in einem mit Klemme versehenen Messingrohr R, das durch ein, in der üblichen Weise gerieftes Hartgummistück H geführt und festgestiftet ist. Dieser Hartgummi-Isolator H wird in seinem Mittelstück von einem Messingrohr umfaßt, das an einer größeren Blechscheibe S festgelötet und mit dieser auf dem entsprechend durchbohrten, horizontalen Brett B festgeschraubt ist. Um die

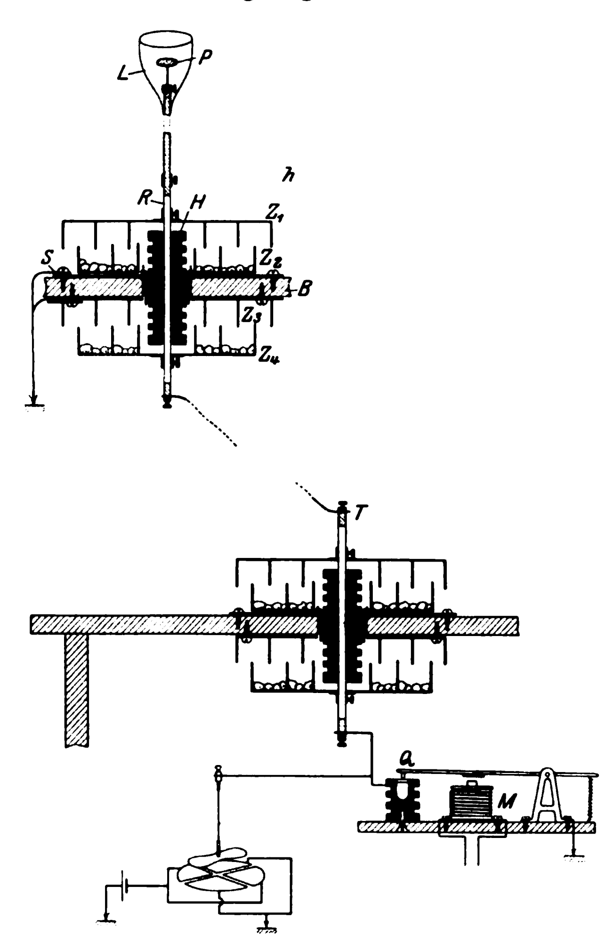


Abb. 21. Potentialmeßanordnung.

Hartgummioberfläche zu schützen, ist der oberhalb und unterhalb des Brettes befindliche Teil durch vier Zinkblechkappen (Z_1 bis Z_4) welche Rinnen enthalten, umgeben. Z_1 und Z_4 lassen sich mit Klemmen an dem Laternenhalter verstellen. In die Rinnen von Z_2 kann ebenso wie in die von Z_4 etwas Kalziumkarbid zur Trocknung gebracht werden. Z_3 ist von unten an das Brett B geschraubt es liegt, um elektrostatisch definierte Verhältnisse zu schaffen, ebenso wie Z_2 und die Blechscheibe S durch eine Kupferleitung an Erde. Unten trägt der Laternenhalter

eine Klemme, von der ein Draht zur Deckendurchführung der Hütte hinabgeht. Diese Deckendurchführung ist nach den gleichen Isolationsprinzipien gebaut, nur tritt an Stelle des Laternenhalters und des Rohres R jetzt der einfache oben und unten mit Anschlußklemmen versehene Messingteil T. Von T geht die Leitung nicht direkt zum Elektrometer, sondern sie ist erstmals an ein mit Hartgummi isolierendes Quecksilbernäpfchen Q eines Erdschlüssels geführt. Mit Hilfe eines von einem Kontaktuhrwerk bedienten Elektromagneten M wird allstündlich über mehrere Minuten ein Kontakt zwischen Q und Erde herbeigeführt. Von diesem Erdschlüssel geht die Kollektorleitung unmittelbar an die Nadel des Quadrantenelektrometers. Das eine Quadrantenpaar wird durch zwei Trockenelemente auf ca. 3 Volt aufgeladen, das andere liegt an Erde. Wie schon bemerkt erforderten die Isolationsstellen sehr häufige Revision. Bei einer relativen Feuchtigkeit über 80 % blieb die Messung stets unsicher.

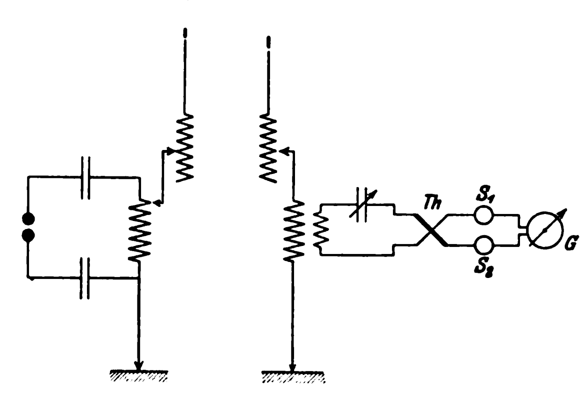
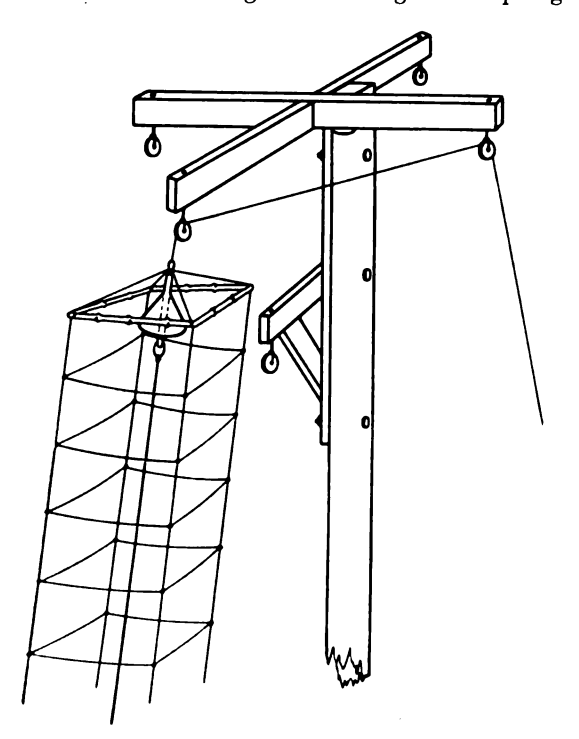


Abb. 22. Schaltung für den Registrierempfang.


Abb. 23. Kopf des Mastes 10.

Das Spiegelgalvanometer bildete nach Abb. 22 einen Bestandteil eines quantitativ registrierenden drahtlos telegraphischen Empfängers. Von der mit einer Abstimmspule versehenen Antenne wird in loser Koppelung auf einen geschlossenen, mit Drehplatten-Kondensator abstimmbaren Kreis induziert, der ein empfindliches evakuiertes Brandessches Thermoelement Th enthält. An das Thermoelement ist unter Zwischenschaltung von Drosselspulen S_1, S_2 das Galvanometer G angeschlossen.

Der neben dem Registrierschuppen gelegene mit festen Wandtischen versehene Arbeitsraum 8 bot für gelegentliche kleinere Arbeiten Raum. Eine feste Apparatenanordnung war hier nicht vorgesehen, bis auf einen kleinen Markonisender, der ebenso wie eine elektrische Signallampe zur Verständigung mit dem ca. 360 m entfernten Schuppen 4 diente.

Wenige Meter hinter den beiden Schuppen steht Mast 10. Auf seinem 28 m hohen, von vier Verankerungen gehaltenen Untermast war ursprünglich eine 9 m hohe Verlängerungsstange angebracht. Bei demselben Sturm, bei dem auch Mast 9 defekt wurde, brach diese Verlängerung kurz über dem Untermast völlig ab. Nachträglich wurde, da der 28 m-Mast für die beabsichtigten Zwecke hinreichte, von der Aufbringung einer neuen Stange abgesehen. Er erhielt dafür oben ein schweres horizontales Kreuz mit im ganzen 5 Blöcken (vgl. Skizze 23) zum Aufziehen der verschiedenen Antennen und Schutzgebilde. Die Antennen können durch eine besondere isolierte Durchführung in das Innere des Registrierschuppens geleitet werden. Als Erdung dient eine 3 m tief vergrabene Kupferplatte von 0,5 m^2 oder ein die Schuppen 7, 8 und den Mast in Form eines niederen Drahtzaunes umgebendes „Gegengewicht“.

Einige der Teiluntersuchungen wurden nicht auf dem hiermit beschriebenen Gelände in Gräfelfing, sondern im Physikalischen Institut der technischen Hochschule in München vorgenommen.

Untersuchung.

I. Das elektrostatische Erdfeld in der Nachbarschaft der Antenne.

Methoden zur Ermittelung des Feldverlaufes.

Jedes Antennengebilde der drahtlosen Telegraphie, das in irgendeiner Form in die freie Atmosphäre hineinragt, wird nach S. 7 als „Leiter im Feld" den normalen Verlauf der Kraftlinien und Potentialflächen stören. Je nach der Anordnung der einzelnen Leiterteile sowie je nach den elektrischen Ausgleichsmöglichkeiten gegen Erde oder Atmosphäre, werden sich ganz bestimmte charakteristische Änderungen in der Nachbarschaft der Antenne ergeben.

Wenn es sich nun darum handelt den Verlauf des Feldes in der Nähe eines derartigen Leitergebildes anzugeben, so können an sich 4 Methoden in Frage kommen:

1. Berechnung des Feldverlaufes.
2. Experimentelle Bestimmung mit Potentialmeßanordnungen am wirklichen Objekt.
3. Experimentelle Bestimmungen mit Potentialmeßanordnungen an einem elektrisch-ähnlichen Modell im künstlichen Feld.
4. Gefühlsmäßige Schätzung des Verlaufes unter Berücksichtigung des Längszuges und Querdruckes der Kraftlinien und der Tatsache, daß die Kraftlinien auf allen Potentialflächen, also auch auf den Leiterflächen, senkrecht stehen.

Berechnung.

Die erste dieser Methoden muß ausscheiden, sobald es sich, wie bei den drahtlos telegraphischen Antennen zumeist, um kompliziertere, willkürliche Gebilde handelt. Für einfache lineare vertikale Leiter (Stangen) hat Benndorf[1]) der sie als halbe oder gestreckte Rotationsellipsoide auffaßte, die Berechnung durchgeführt.

Ausmessung mit Sondenballon.

Sehr schwierig und nur ungenau läßt sich auch in den meisten Fällen die experimentelle Auswertung im Freien aufgestellter großer Antennen mit Hilfe von Potentialmeßanordnungen durchführen. Es ist nötig, die einzelnen Feldpunkte

[1]) H. Benndorf, Über gewisse Störungen des Erdfeldes mit Rücksicht auf die Praxis luftelektrischer Messungen. Sitzungsber. der Wiener Akademie. Math. naturw. Klasse 115, Abt. 2a, 425, 1906.



mit einer Sonde abzutasten; dazu steht bei hohen Gebilden an technischen Hilfsmitteln nur der Ballon zur Verfügung. Schon bei leisem Wind ist aber der Ort eines Fesselballons äußerst schlecht definiert. Immerhin wurde von dieser Methode zur Kontrolle der übrigen beschränkter Gebrauch gemacht.

Die gesamte Meßanordnung besteht dabei, wie die schematische Skizze 24 zeigt, aus drei Teilen: dem Fesselballon, der oben die Sonde oder den Ausgleicher (Kollektor) trägt, einer isolierenden Kabelwinde und einem Voltmeter.

Als Ausgleicher dienen mit Polonium elektrolytisch überzogene Platinbleche, die einzeln oder in größerer Anzahl mit entsprechenden Klemmen (vgl. Abb. 25) auf den Ballon aufgebracht werden können.

Der verwendete Ballon von 17 m³ Inhalt hat bei Wasserstoff-Füllung etwa 10 kg Auftrieb. Von den Sondenhaltern gehen Drahtleitungen nach dem mit drehbaren Nippel versehenen Karabinerhaken K, an welchem das Haltekabel, ein „meteorologischer Stahldraht" von 1,0 mm Durchmesser befestigt ist.

Abb. 24. Potentialmeßanordnung.

Die Trommel T der Kabelwinde ist von der Achse A durch Hartgummi isoliert. Da diese Hartgummimasse bei den gelegentlich auftretenden starken Zugkräften ungünstig auf Scherung beansprucht wird, ist die Isolationsstelle nach Skizze 26 ausgebildet[1]). Die Achse trägt vier angegossene Flügel, die in eine entsprechend mit vier Aussparungen versehene Gußform, welche mit der Trommel verschraubt ist, hineinragen. Der Zwischenraum ist mit Hartgummi, der somit nur auf Druck beansprucht wird, ausgeknetet. Die Enden der Trommelachse sind durch überstehenden geriefelten Hartgummizylinder und Trockenkappen geschützt. Durch eine Bandbremse kann die Trommel festgebremst werden, ein Tourenzähler kontrolliert die Länge des jeweils abgelaufenen Kabels.

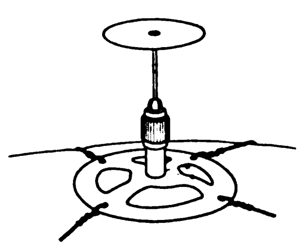


Abb. 25. Sondenklemme.

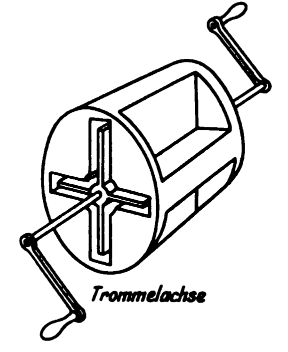


Abb. 26. Gußteile der Trommel.

Die Spannung wird durch eine Schleiffeder, welche auf dem nach den üblichen Isolationsprinzipien geschützten Träger J sitzt, dem Hochspannungsvolt-

[1]) Dieckmann. Physikalische Zeitschrift, 10. Jahrg., 832, 1909; Verh. der Physik. Gesellschaft. II. Jahrg., 699, 1909.

meter V zugeführt. Als Voltmeter kamen bei den wenigen Versuchen, die zu Antennenbeobachtungen ausgeführt wurden, Braunsche Voltmeter mit einem Meßbereich bis 5000 Volt zur Verwendung.

Ausmessung am Modell im künstlichen Feld.

Weit genauere und quantitativ brauchbare Ergebnisse erhält man nach der Methode 3, indem man sich nach dem Vorgange von Maxwell[1]), Ebert und Lutz[2]) ein elektrisches Modell des feldstörenden Körpers anfertigt und dieses in einem dem Erdfeld analogen künstlichen Feld untersucht. Für die weiterhin mitgeteilten Messungen konnte ein vorhandener von Herrn cand. Hoffmann verwendeter

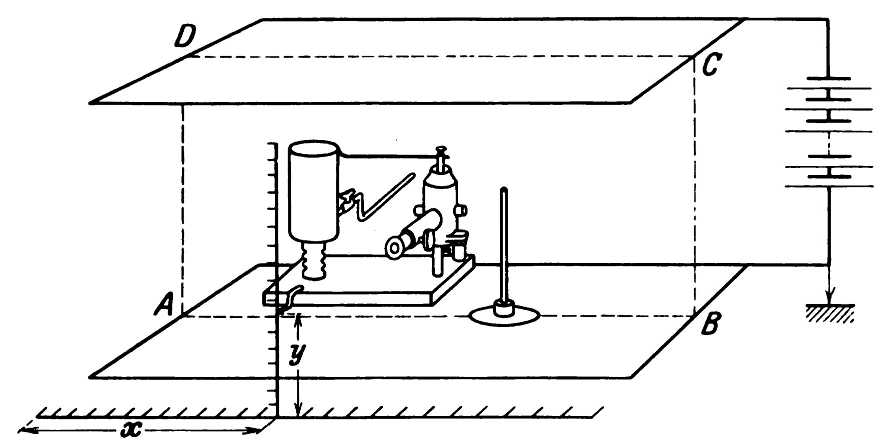


Abb. 27. Meßanordnung mit künstlichem Feld.

Apparat mitbenutzt werden. Das elektrostatische Feld wird durch zwei Zinkplatten (Abb. 27) von $2{,}0 \times 1{,}0\ \mathrm{m}^2$ Oberfläche gebildet, die sich isoliert in 0,50 m Abstand gegenüber befinden. Die obere Platte kann durch eine Akkumulatorenbatterie auf + 300 Volt geladen werden. Die untere liegt mit dem negativen Pol der Batterie an Erde. Zwischen den Platten besteht also im inneren Teile ein homogenes Feld mit einem Gefälle von

$$\frac{dV}{dh} = 6 \frac{\mathrm{Volt}}{\mathrm{cm}}$$

Als Sonde dient ein Wasserkollektor, der mit einem dünnen Ausflußrohr seitlich in das Feld hineinragt. Durch eine horizontale und vertikale Schlittenführung kann dem Ausgleichspunkt mit großer Genauigkeit jede beliebige Lage, die man sofort in den rechtwinkligen Koordinaten ablesen kann, auf der Mittelebene gegeben werden. An das Gefäß des isoliert aufgestellten Wasserkollektors ist ein Lutzsches Seitenelektrometer angeschlossen. Kollektorgefäß und Elektrometer befinden sich mit auf dem beweglichen Schlitten.

---

[1]) J. Cl. Maxwell, Treatise I, § 94.

[2]) H. Ebert u. C. W. Lutz, der Freiballon im elektr. Feld der Erde; Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre, 1908, Bd. II, Heft 5, 183 ff.

Schätzung.

Obwohl die Ausmessung des Feldverlaufes mit einer derartigen Anordnung sich relativ einfach gestaltet, kann es für viele Fälle, in denen es weniger auf zahlenmäßige Angabe als vielmehr auf Feststellung der Kennzeichen des Feldverlaufes ankommt, genügen, eine Querschnittsskizze des Feldes entweder durch Zeichnung des Kraftlinienverlaufes oder des dazu senkrechten Systemes von Potentialflächen zu entwerfen. Das durch Betrachten gut durchgemessener Anordnungen, wie sie beispielsweise in den Hoffmannschen Messungen vorliegen, geschulte Gefühl gibt die tatsächlichen Verhältnisse mit hinreichender Näherung wieder. Von diesem Verfahren 4 ist deshalb im folgenden häufig Gebrauch gemacht. Die praktisch besonders wichtigen Fälle sind nach Methode 3 zahlenmäßig ausgewertet worden, wobei einige Messungen nach der direkten Methode 2 die Zulässigkeit des Verfahrens bestätigen.

Antenne mit Ausgleich gegen Erde.

Die erste Gruppe der hier zu betrachtenden Anordnungen behandelt den in der Praxis fast stets realisierten Fall, daß die Antenne eine Ausgleichsmöglichkeit gegen Erde besitzt. Dieser Fall soll deshalb eingehender als die übrigen dargestellt werden.

Wenn ein drahtlos telegraphisches Luftleitergebilde, es sei durch den linearen Leiter A auf Skizze 28 symbolisiert, mit dem Erdboden durch eine Leitung L verbunden ist, so bildet es gewissermaßen einen Teil der Erdoberfläche und deformiert die Potentialfläche in der in Abbildung 1 bereits mitgeteilten Weise. Die Flächen, zwischen denen gleich große Potentialdifferenzen, beispielsweise von je 100 Volt bestehen, drängen sich über der Spitze zusammen, so daß dort größere Gefällwerte auftreten müssen. Während sonst z. B. die Fläche, deren Punkte eine Potentialdifferenz von 1000 Volt gegen Erde haben, in 10 m Abstand vom Boden verläuft, entsprechend einem Potentialgefälle von

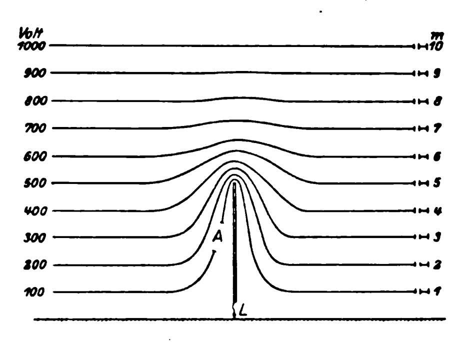


Abb. 28. Linearer, vertikaler Leiter.

$$\left(\frac{dV}{dh}\right)_{\text{Boden}} = 100 \frac{\text{Volt}}{\text{Meter}}.$$

sei diese Fläche von einer Antennenspitze nur ca. 1 m entfernt. Dies würde dann einem mittleren Gefälle

$$\left(\frac{dV}{dh}\right)_{\text{Spitze}} = 1000 \frac{\text{Volt}}{\text{Meter}},$$

also dem zehnfach größeren Betrage entsprechen.

Erdung statisch und bei Hochfrequenz.

Es ist zum Auftreten einer derartigen Sachlage nicht erforderlich, daß die betreffende Antenne „gut" geerdet ist. Man muß überhaupt bei der Betrachtung dieser Verhältnisse die ganz verschiedene Isolierbarkeit statisch geladener oder mit Hochfrequenz beschickter Leiter auseinanderhalten. Eine vollkommene Isolation statischer Ladungen ist äußerst schwierig herzustellen; wenn in der Zeiteinheit auch nur ein geringer Bruchteil der angehäuften Elektrizitätsmenge durch eine Verbindung von hohem Ohmschen Widerstand abfließt, so sinkt doch dauernd das ursprüngliche Potential. Der gänzliche Ausgleich erfolgt um so schneller, je kleiner ceteris paribus die Kapazität der Anordnung war.

Bei Hochfrequenzisolationen kommt es, abgesehen davon, daß meist Energie nachgeliefert werden kann, jedoch nicht auf den Ohmschen Widerstand W, sondern auf den effektiven Widerstand W_{eff} der Verbindung bei der betreffenden Wechselzahl an. Der effektive Widerstand ist aber, abgesehen von der Erhöhung des scheinbaren Widerstandes, für den Fall die Leitung Selbstinduktion enthält, stets größer als der Ohmsche Widerstand.

Schließt man also bei Hochfrequenz einen direkten Funkenübergang aus, so sind an die Isolation der Drähte gegen Leitungsverluste nur sehr geringe Anforderungen zu stellen. Ein nasser Faden kann beispielsweise statische Ladungen in kurzer Zeit ableiten: als Nebenschluß in einer Hochfrequenzanlage bleibt er, sobald er nicht einen Funkenübergang begünstigt, bedeutungslos.

Unter dem zuerst betrachteten Fall der elektrostatisch mit der Erde ausgeglichenen Antenne sind also im allgemeinen auch alle die Antennen zu rechnen, die im schwingungstechnischen Sinn als von Erde isoliert gelten.[1]) Die Porzellanisolatoren der Gegengewichtsdrähte, die Einführungsisolatoren, namentlich aber die Leitungen der Koppelungsspulen sind für den Fall die Antenne nicht direkt geerdet ist, selten in einem Zustand, in dem sie nicht einen Ausgleich statischer Ladungen ermöglichen.

Linearantenne ohne Hochfrequenz; Methode 4.

Für alle diese Antennen, die praktisch das gleiche Potential wie die Erde besitzen, gilt somit als Charakteristikum, daß namentlich in der Nachbarschaft der oberen Teile Werte des Potentialgefälles von erheblich größerem Betrage vorhanden sind, als sie über der Ebene bestehen.

Linearantenne ohne Hochfrequenz; Methode 3.

Eine quantitative Ausmessung der Felder ist an Repräsentanten dreier typischen Antennenformen nach Methode 3 erfolgt, einmal einer Linearantenne, einer Schiffsantenne, und einer Schirmantenne. Die Messungen an der Linearantenne wurden nach Methode 2 geprüft.

Alle 3 Modelle bestehen aus Messingdraht von 1,5 mm Stärke und besitzen eine Höhe von 25,0 cm. In der Meßebene A B C D (Abb. 27) des künstlichen Feldes

[1]) Vgl. Zenneck, Elektromagnet. Schwingungen, Stuttgart 1905, S. 454.



wurde bei den Beobachtungen der Verlauf von 9 Potentialflächen verfolgt, und zwar entsprechen die Potentialflächen den in Tabelle 1 angegebenen Spannungswerten gegen die untere Begrenzungsplatte.

Tabelle 1.

Potentialfläche	Volt
1	30
2	60
3	90
4	120
5	150
6	180
7	210
8	240
9	270

Die obere Platte stellt dann die, allerdings nicht deformierbare, Potentialfläche von 300 Volt vor.

Die so gewonnenen Meßergebnisse lassen ohne weiteres Schlüsse zu für Antennen beliebiger Höhe. Die ermittelten Felddiagramme bleiben richtig, wenn man die Spannungswerte der Potentialflächen entsprechend den Maßstabsänderungen umrechnet. Für den Fall in der Natur ein mittleres atmosphärisches Potentialgefälle von 100 Volt/Meter besteht, gibt Tabelle 2 Auskunft darüber, welche Spannungswerte den Potentialflächen 1 bis 9 je nach der Antennenhöhe zukommen. Ist beispielsweise eine 70 m hohe Antenne vorhanden und will man in Anlehnung an die Diagramme erfahren, welcher Spannungswert beispielsweise der Fläche 6 zukommt, so ergibt die Tabelle unmittelbar den Wert 8400 Volt. Trifft die Annahme eines mittleren Potentialgefälles von 100 Volt/Meter nicht zu, sondern herrscht, nach einer in der Ebene ausgeführten Messung, ein solches von k × 100 Volt/Meter, so sind die Spannungswerte der Tabelle 2 mit k zu multiplizieren. Werden beispielsweise nur 80 Volt/Meter im ungestörten Feld beobachtet, so hat k den Wert 0,8 und die Potentialfläche 6 des Diagrammes für eine 70 m hohe Antenne repräsentiert einen Wert von 0,8 × 8400 = 6720 Volt.

Tabelle 2. (Spannungswerte.)

Höhe der Antenne in m	Potentialfläche 1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	200	400	600	800	1 000	1 200	1 400	1 600	1 800
20	400	800	1200	1600	2 000	2 400	2 800	3 200	3 600
30	600	1200	1800	2400	3 000	3 600	4 200	4 800	5 400
40	800	1600	2400	3200	4 000	4 800	5 600	6 400	7 200
50	1000	2000	3000	4000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000
60	1200	2400	3600	4800	6 000	7 200	8 400	9 600	10 800
70	1400	2800	4200	5600	7 000	8 400	9 800	11 200	12 600
80	1600	3200	4800	6400	8 000	9 600	11 200	13 800	14 400
90	1800	3600	5400	7200	9 000	10 800	12 600	14 400	17 200
100	2000	4000	6000	8000	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000

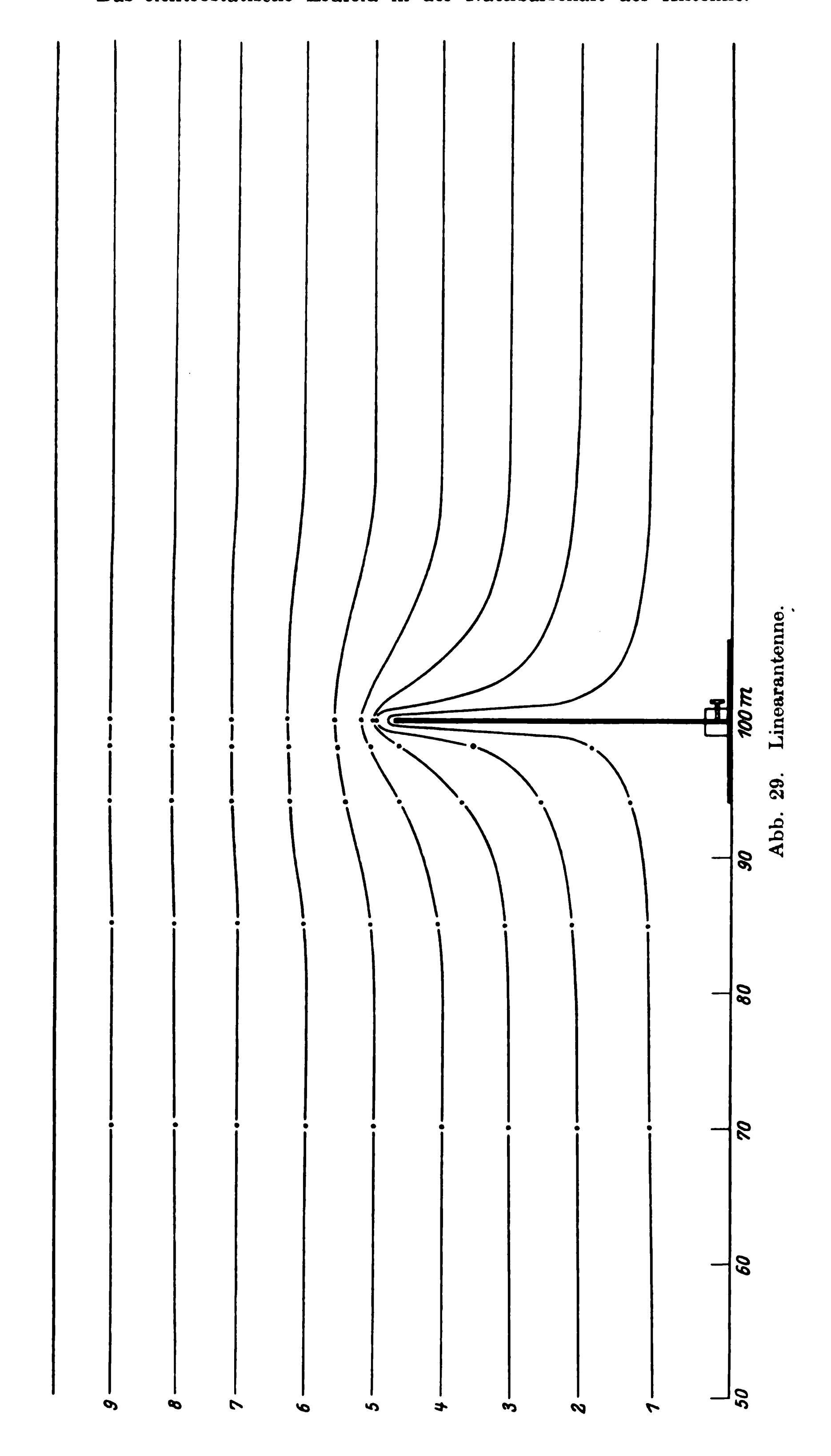


Abb. 29. Linearantenne.

1 m Antennenhöhe in Wirklichkeit wird dabei auf den graphischen Blättern (Abb. 29, 34, und 37) durch folgende Längen dargestellt:

Tabelle 3.

Antennenhöhe	1 m in Wirklichkeit entspricht auf der Zeichnung
10 m	5,00 mm
20	2,50
30	1,67
40	1,25
50	1,00
60	0,83
70	0,71
80	0,62
90	0,55
100	0,50

Abbildung 29 zeigt zunächst den quantitativen Verlauf der Potentialflächen, wie er an dem Modell der Linearantenne (Abb. 30) ermittelt wurde. Man erkennt an dem gedrängteren Verlauf der Potentialflächen, daß in der Nähe der Spitze der Betrag des Potentialgefälles wesentlich größer ist, während sich am Fuß des Leiters fast kein Feld nachweisen läßt.

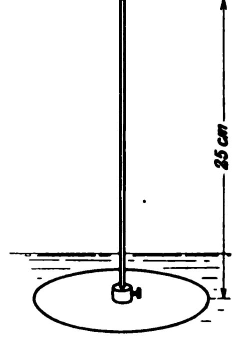


Abb. 30. Modell der Linearantenne.

Alle markierten Punkte sind direkt beobachtet. Es wurde dabei, wie Tabelle 4 angibt, so verfahren, daß bei einer bestimmten Abszissenstellung des Kollektors alle die Ordinatenwerte aufgesucht wurden, an denen der Ausschlag des Elektrometers den für jede der gesuchten Potentialflächen charakteristischen Betrag annahm. Die Messungen lassen sich relativ genau ausführen und dürften in einigem Abstande von dem Leiter nicht über 3 % falsch sein.

Tabelle 4. (Ordinatenwerte.)

Elektromet.-Skalenteile	Volt	Abscissenskalenteile					
		50	70	85	94	98	100
— 4 7	30	5,7	6,0	6,1	7,5	10,4	
— 13,7	60	11,2	11,3	11,8	14,2	19,2	26,3
1,2	90	16,3	16,4	16,8	20,0	24,5	26,6
6,3	120	21,4	21,3	21,7	24,6	26,7	27,5
10,3	150	26,4	26,4	26,7	28,5	29,2	29,4
13,9	180	31,5	31,4	31,7	32,7	32,8	32,9
17,0	210	36,5	36,5	36,5	37,0	37,0	37,0
20,0	240	41,0	41,1	41,2	41,4	41,4	41,4
22,8	270	45,8	45,8	45,8	46,0	46,0	46,0

Damit man bei verschiedenen Antennenhöhen den Wert des Gefälles über der Spitze einfach entnehmen kann, sind in der folgenden graphischen Darstellung

(Abb. 31) für verschiedene Abstände von der Spitze die Werte der betroffenen Potentialflächen angeführt. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß die eingetragenen Werte für ein Gefälle von 100 Volt/Meter in der Ebene gelten, also beispielsweise mit 4 zu multiplizieren sind, wenn das Gefälle in der Ebene 400 Volt/Meter beträgt. Diese letzte graphische Darstellung ist nicht sehr genau und nur für Überschlagsrechnungen zu verwenden. In unmittelbarer Nähe der Antennenoberfläche dürften überdies weniger einfache Beziehungen gelten.

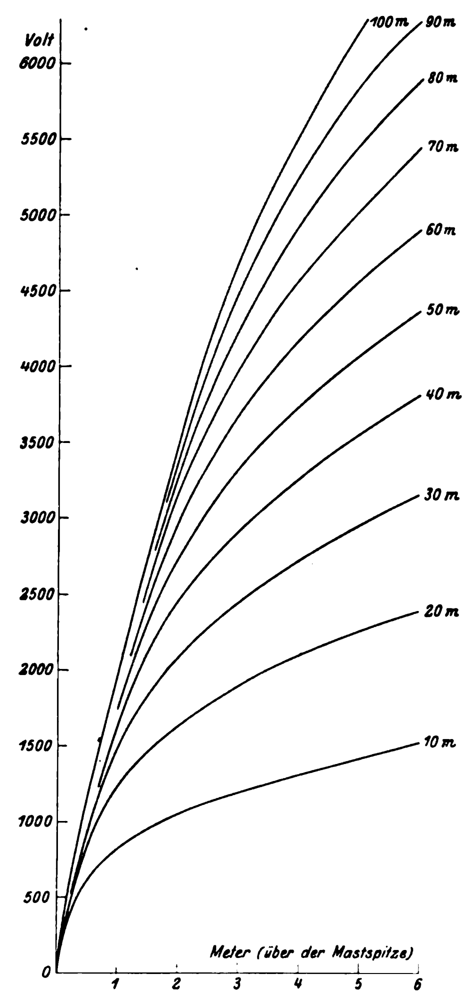


Abb. 31. Wert der Potentialflächen in verschiedenem Abstand von der Spitze bei Masten von 10 bis 100 m Höhe.

Linearantenne ohne Hochfrequenz; Methode 2.

Dieser wichtigste Fall der Feldstörung wurde, wie bereits erwähnt, auch nach Methode 2 mit Hilfe des Sondenballons untersucht. Die Messung wurde an dem 37 m hohen Mast 10, der mit einer Linearantenne armiert war, ausgeführt. Es wurden die Höhen von 10 zu 10 m in Abständen von 10, 20 und 30 m vom Mast abgetastet. Obwohl heiteres, relativ windstilles Wetter herrschte und die Isolation keine Mängel aufwies, blieben die an dem Braunschen Elektrometer gewonnenen Ablesungen sehr unsicher. Die Lage des Ausgleichspunktes dürfte seitlich nicht besser als auf ca. 4 m, der Höhe nach 2 bis 3 m, genau definiert sein. Die in Tabelle 5 aufgeführten Elektrometerablesungen bestätigen immerhin qualitativ die nach Methode 3 gewonnenen Daten.

Tabelle 5.

Höhe in m	Abstand vom Mast in m		
	10	20	30
50	5120 Volt	5200 Volt	5120 Volt
40	3930 „	4510 „	4430 „
30	3180 „	3480 „	3530 „
20	2140 „	2680 „	2710 „
10	Kein Ausschlag	ca. 1200 „	1320 „

Ausgleichsstrom gegen Erde.

Zeichnet man an Stelle der Potentialflächen das dazu senkrechte System der Kraftlinien so sieht man, daß auf der Antenne eine außerordentlich große Anzahl von Kraftlinien münden. Ist also, um auf Späteres hinzuweisen, die Luft ionisiert, so bilden diese Kraftlinien die Strömungslinien des aus der Atmosphäre gegen Erde gerichteten Stromes. Alle auf der Antenne mündenden Strömungslinien liegen bei sonst ungestörtem Feld innerhalb einer Kreisfläche, deren Inhalt mit der Antennenhöhe q quadratisch wächst. Die durch den Erdungsquerschnitt des Antennenleiters gegen Erde fließenden Ströme müssen somit auch, Windstille vorausgesetzt, quadratisch mit der Antennenhöhe zunehmen. Bezeichnet man mit i den normalen vertikalen Leitungsstrom in Ampere pro cm^2 und mit l die Höhe der Antenne in cm, so gilt, da mit großer Näherung der Durchmesser der Kreisfläche die wir auch für andere Luftleiterformen als Antennenluftquerschnitt bezeichnen wollen, annähernd gleich der Höhe der Antenne ist[1]), für den durch diese Feldverteilung resultierenden Strom in der Erdleitung:

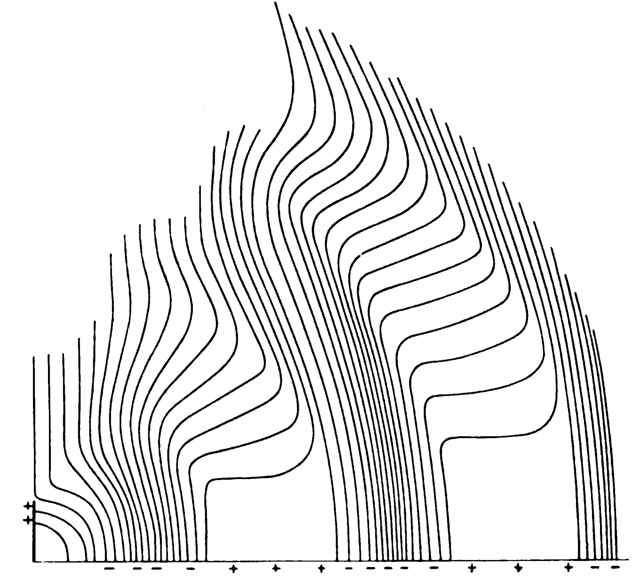


Abb. 32. Superposition von Erd- u. Hochfrequenzfeld.

$$I = \frac{\pi}{4}\, i\, l^2 \text{ Ampere}$$

Da i den Wert von ca. $2 \cdot 10^{-16}$ $\frac{\text{Ampere}}{\text{cm}^2}$ hat, ergibt sich bei einer beispielsweise 50 m hohen Lineartenne für I ein Wert $3{,}9 \cdot 10^{-9}$ Ampere in der Erdleitung. Dieser Strom stellt jedoch, wie sich später ergeben wird, nur einen Teil des tatsächlichen Gesamtstromes dar.

Linearantenne mit Hochfrequenz.

Im vorstehenden ist das Feld um die Antenne ausschließlich unter der Annahme dargestellt worden, daß die Antennenleiter keine Hochfrequenz führen. Da bisher in der Literatur die Feldverteilung um die „strahlende" Antenne stets, soweit mir bekannt ist, anschließend an die Hertzschen Diagramme unter Außeracht-

[1]) K. Hoffmann hat inzwischen (Dissertation, München 1911, Seite 38 u. 39), im Anschluß an diese ihm von mir früher mitgeteilte Darstellung, versucht, einen genaueren Wert des Antennenluftquerschnittes zu geben. (Bemerkung bei der Korrektur.)

lassung des Erdfeldes dargestellt ist, so dürfte hier der Ort sein, auf die Verhältnisse, wie sie sich unter Berücksichtigung des Erdfeldes ergeben, hinzuweisen. Es wird dabei zur Charakteristik genügen, abermals nur den ungefähren Verlauf des Feldes zu zeichnen, wie er sich aus einer Superposition des Erdfeldes und des Hochfrequenzfeldes ergibt. Nach rein graphischen Methoden würden sich genaue Superpositionsbilder auch für den Fall stark gedämpfter Schwingungen unter Zugrundelegung der Diagramme von Pearson und Lee[1]) und unter Berücksichtigung der Boden-

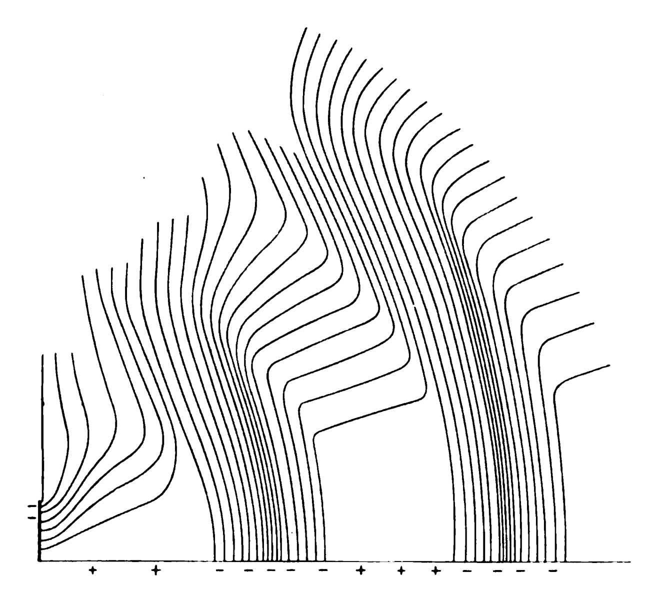


Abb. 33. Superposition von Erd- und Hochfrequenzfeld.

beschaffenheit nach Sommerfeld und Epstein[2]) ergeben. Unsere Skizzen zeigen den Fall (Abb. 32 und 33), daß die Antenne einmal gerade das positive, das andere Mal das negative Maximum ihrer Ladung besitzt. Es ist dabei angenommen, was ja tatsächlich näherungsweise gilt, daß die durch die Hochfrequenz erzeugten Feldstärken in der Nachbarschaft der Antenne von gleicher Größenordnung sind, wie die Feldstärken des Erdfeldes. Man erkennt aus den Skizzen recht gut, welche Deformationen das Erdfeld erleidet, wenn es von den elektromagnetischen Wellen durchsetzt wird. In der Strahlungsrichtung bauchen sich die Kraftlinien aus, um sich nach dem Passieren jeder Welle wieder zu strecken.

Darüber, ob die ausgehenden elektromagnetischen Wellen, dadurch daß sie sich in einem elektrostatischen Feld ausbreiten, dem Kerrphaenomen ähnlichen Wirkungen unterliegen, kann man gegenwärtig nichts aussagen.

Nach dieser ausführlicheren Besprechung der bei einer geerdeten Linearantenne vorliegenden Verhältnisse können die Feldstörungen in der Nachbarschaft einer geerdeten Schiffsantenne und einer Schirmantenne, die ja nur Modifikationen des ersten Falles vorstellen, kurz behandelt werden.

---

[1]) K. Pearson u. A. Lee, Phil. Transaktions 139, A 159, 1900.

[2]) P. Epstein, Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie 1910, Bd. 4, 176.

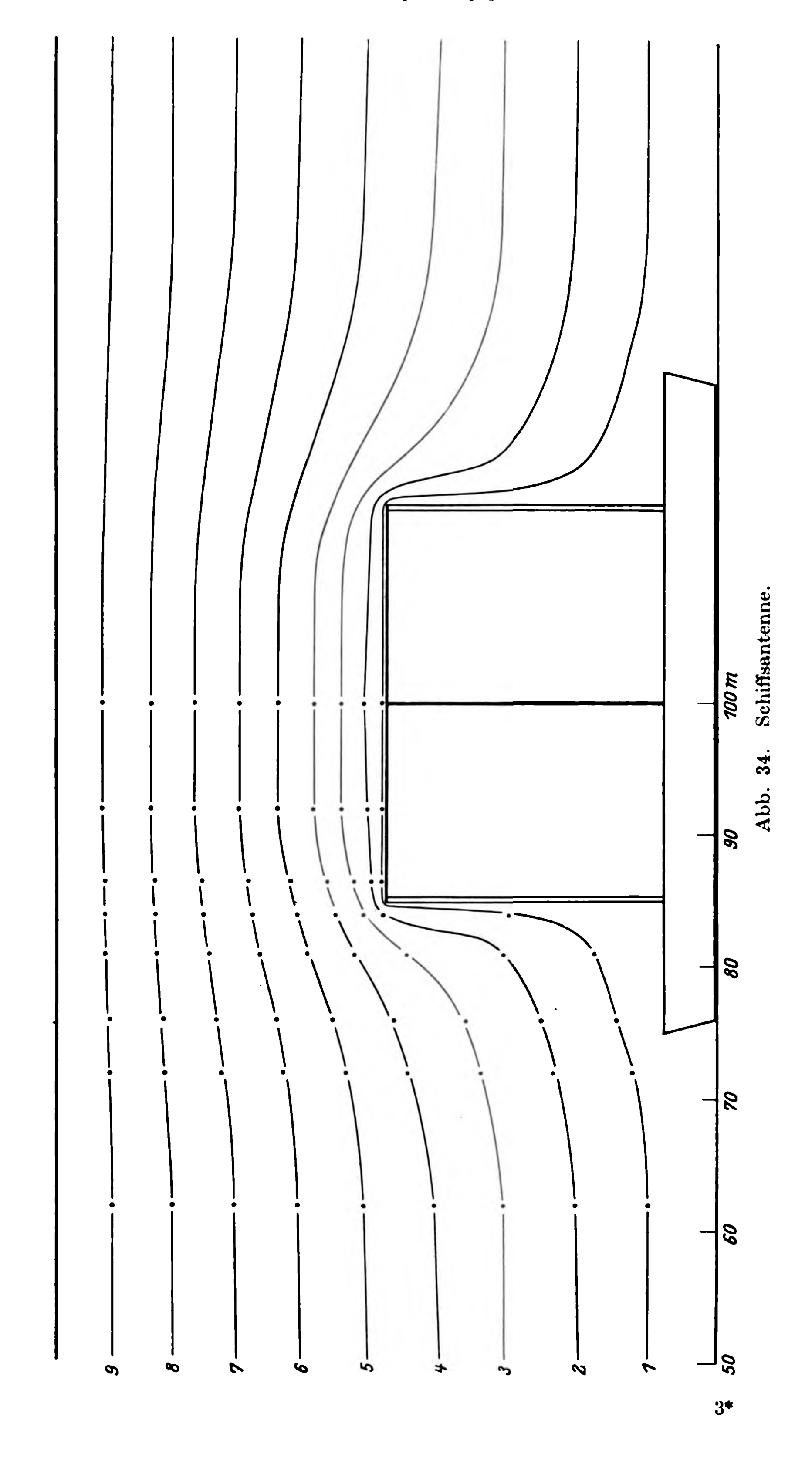


Abb. 34. Schiffsantenne.

Schiffsantenne.

Bei dem Potentialflächendiagramm (Abb. 34) der in der Abbildung 35 wiedergegebenen Schiffsantenne ist ersichtlich, daß die höchsten Gefällwerte in der Nachbarschaft der Masten auftreten. Daß also auch die Zahl der Kraftlinien, die in der Antenne münden, relativ klein sein wird.

Schirmantenne.

Bei der Schirmantenne, deren Modell mit 6 Schirmdrähten von je 12,5 cm Länge, die 19,5 cm über dem Boden enden, versehen ist (Abb. 36), zeigt das Diagramm (Abb. 37), daß die Potentialflächen unter die Schirmdrähte einbiegen, also auch einige Kraftlinien auf der Unterseite einmünden müssen. Je größer der Durchmesser des

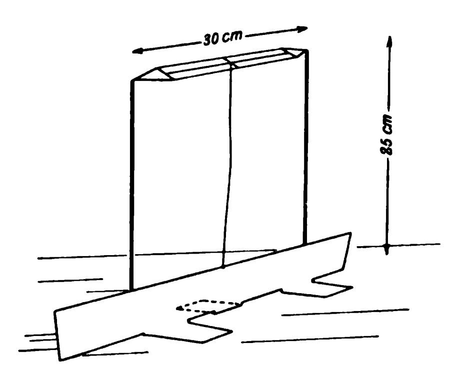


Abb. 35. Modell der Schiffsantenne.

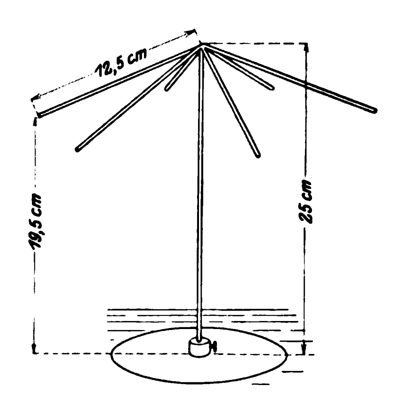


Abb. 36. Modell der Schirmantenne.

Schirmes und je geringer der Neigungswinkel der Drähte ist, desto größer muß die Zahl der auf der Antenne endenden Kraftlinien sein. Bei einer Schirmantenne von den hier angegebenen Abmessungen besitzt der zugehörige Antennenluftquerschnitt ca. einen Radius gleich der Antennenhöhe.

Antenne mit Ausgleich gegen Atmosphäre.

Als zweiter Fall möge nunmehr der erörtert werden, daß der Antennenleiter für statische Spannungen von Erde isoliert ist, aber gegen die Atmosphäre eine Ausgleichsmöglichkeit besitzt, daß er also, wenn man den Ausdruck wählen darf, „an Luft" liegt.

Der Luftausgleich kann dabei aus mehrerlei Ursachen begründet und begünstigt sein.

Außer der normalen Leitfähigkeit der Luft kann einmal der Hallwachseffekt mitwirken. Ultraviolettes Licht, das die Oberfläche des Antennenmetalles trifft, läßt Elektronen aus der Antenne austreten, so daß die Antenne positiv geladen zurückbleibt. Je nach dem Oberflächenmaterial, dem Zustand der Leiter und der Stärke

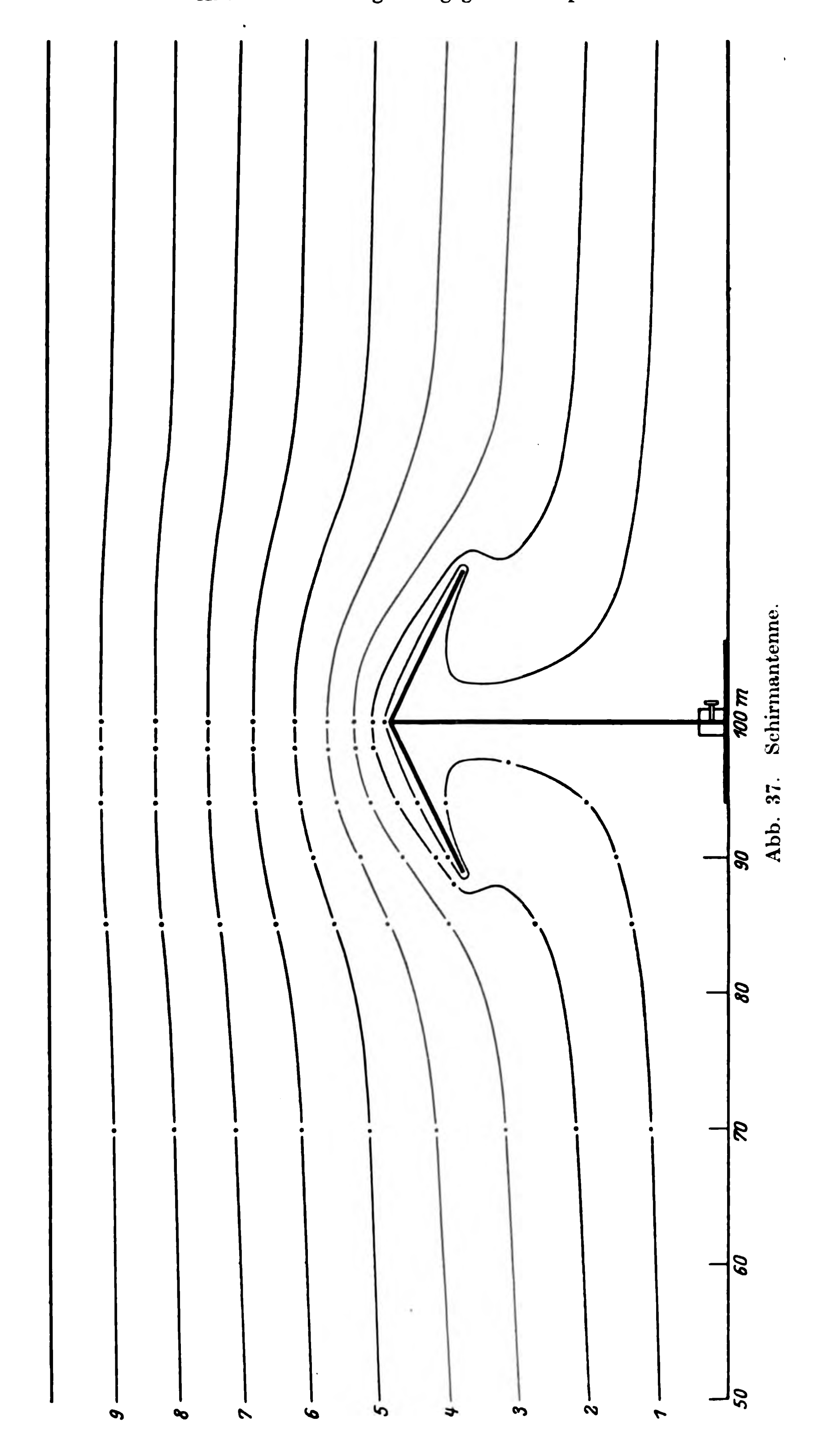


Abb. 37. Schirmantenne.

der ultravioletten Strahlung wird dieser Effekt von verschiedener Bedeutung sein. In der Tat konnte Weise[1]) die mit Transformator und ballistischem Galvanometer gegen Erde beobachteten Entladungsströme eines an einer 24,5 m hohen Stange verspannten Drahtes steigern, wenn er die obersten Teile des Leiters mit verschiedenem Material, Zink oder Kohle versah, oder wenn er die oberen Teile des Leiters mit einem Scheinwerfer bestrahlte. (In der angegebenen Arbeit wird die Wirkung der Bestrahlung auf den Lenardeffekt zurückgeführt.) Leider läßt das dort zahlreich angeführte Zahlenmaterial, wegen der nicht einwandfreien Meßmethode, keinerlei quantitative Aussage zu.

Eine weitere wichtige, in den folgenden Abschnitten ausführlich dargelegte Ausgleichsursache bilden die Induktionen der in der Luft verbreiteten radioaktiven Substanzen. Solange eine Feldverteilung derart besteht, daß sich der Antennenleiter namentlich mit seinem oberen Ende negativ elektrisch gegenüber der Umgebung erweist, werden sich die radioaktiven Induktionen auf seiner Oberfläche niederschlagen und die angrenzende Luft ionisieren. Da die negativen Ionen unter dem Einfluß des Feldes abgestoßen, die positiven aber angezogen werden, ladet sich die Antenne positiv auf.

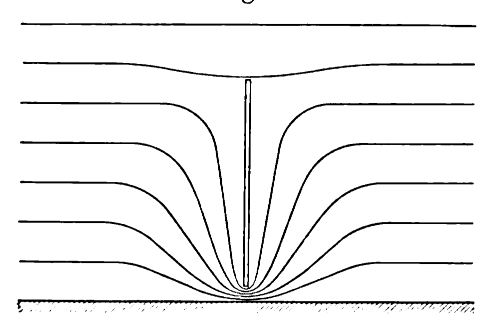


Abb. 38. Antenne liegt an Luft.

Wenn man von den Strömen innerhalb der einzelnen Elemente der Antenne absieht, und man annimmt, daß der Schwerpunkt des Ausgleiches in dem oberen Teile liegt, so ergibt sich als Charakter der Feldstörung ein Potentialflächenverlauf nach Abb. 38. Durch den Antennenleiter geht eine bestimmte Potentialfläche. Alle niederen Potentialflächen werden unter der Antenne in dem Isolationsraum zusammengedrängt. Zwischen der Antenne und der Erde besteht eine umso größere Spannungsdifferenz, je höher der Ausgleichsschwerpunkt liegt.

Bei dieser, wie schon auf Seite 36 bemerkt, bei uns nicht häufigen Erscheinung, daß die Antenne gegen den Boden gut isoliert ist und ein guter Luftausgleich besteht, kann man aus der Antenne mehr oder weniger kräftige Funken gegen Erde ziehen. (Vergl. Anmerk.)

In Wahrheit wird nun, je nach den jeweiligen Verhältnissen, ein zwischen den Extremen liegender. Mittelfall gegeben sein. An derselben Antenne kann man bei hohem atmosphärischen Potentialgefälle, wenn die Erdung gut ist, am oberen Ende leuchtende Büschelentladungen wahrnehmen, während bei leidlicher Bodenisolation und gutem Luftausgleich die unteren Teile des Leiters sprühen und sich durch lebhafte Funken gegen Erde entladen.

---

[1]) G. Weise, Dissertation, Rostock 1904.

Anmerkung: Läßt man etwa, wie bei alter Markonischaltung, den Funken in einer Funkenstrecke übergehen, so muß infolge des notwendigerweise oszillatorischen Charakters der Entladung bei dem Funkenübergang eine Wellenfolge ausgestrahlt werden.

Ballon- und Luftschiffantennen.

Der Vollständigkeit halber und um anderweit publizierte Potentialflächendiagramme von geladenen Leitern, die sich in größerem Abstande vom Erdboden befinden[1]), zu berichtigen, sind im folgenden noch drei Skizzen von dem Feldverlauf um ein Luftschiff mit damit leitend verbundener Antenne wiedergegeben. Nach den Gesetzen der Elektrostatik nimmt ein ungeladener Leiter, der sich im Feld verschiebt, stets das Potential der Stelle an, an welcher er sich befindet (Abb. 39). Bei einem Ballon oder Luftschiff können aber aus verschiedenen

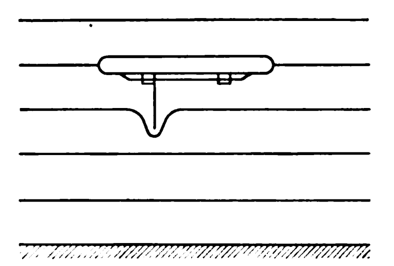


Abb. 39. Luftschiff, ausgeglichen.

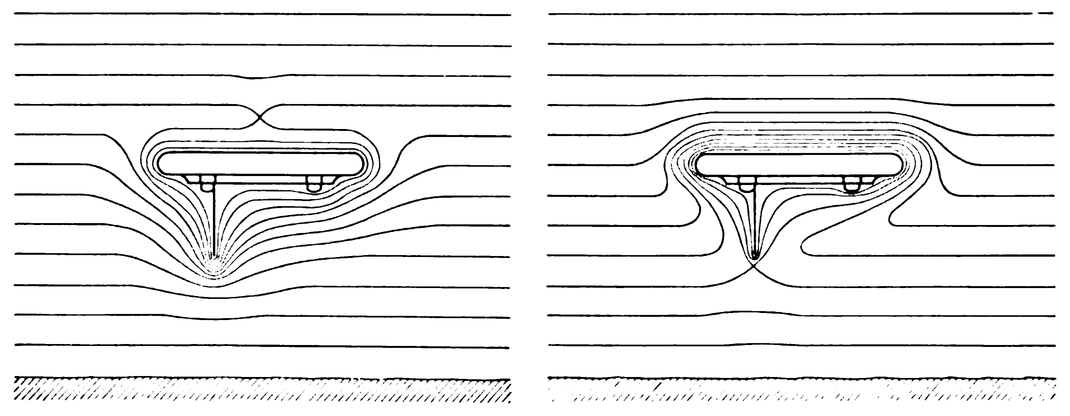


Abb. 40. Luftschiff mit positiver Eigenladung. Abb. 41. Luftschiff mit negativer Eigenladung.

Gründen Eigenladungen und damit Feldstörungen auftreten. Der Verlauf der Potentialflächen ist dann so, daß das Luftschiff von einigen Potentialflächen ganz eingehüllt ist, von denen eine mit einer der Erdkugel zugehörigen Potentialfläche zusammenhängt. Bei negativer Eigenladung liegt diese gemeinsame Fläche zwischen Erde und Luftschiff, bei positiver Eigenladung über dem Luftschiff (Abb. 40 u. 41). Soweit die bisher angestellten Messungen ergeben, besitzt das Luftschiff die Tendenz, sich während der Fahrt positiv aufzuladen.[2])

[1]) M. Dieckmann, Prometheus, Jahrg. XIX, 785. K. Kurz, Abhandl. der Kgl. Bayr. Akademie der Wissenschaft. Math. Phys. Klasse, XXV. Bd., 1. Abh.

[2]) M. Dieckmann, Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt 1911, Heft 1.

II. Leitfähigkeit der Luft in der Nachbarschaft einer Antenne.

Niederschlag radioaktiver Substanzen auf Drähten.

Elster und Geitel[1]) haben in einem ihrer grundlegenden Versuche gezeigt, daß sich auf negativ geladenen in der Luft frei ausgespannten Drähten radioaktive Substanzen niederschlagen. Auch wenn man einen spannungslosen Draht so in das Erdfeld bringt, daß elektrische Kraftlinien in größerer Anzahl auf ihm enden, müssen die in der Luft überall suspendierten radioaktiven Zerfallsprodukte der gasförmigen Emanationen, die radioaktiven „Induktionen", die sich scheinbar, wie positive Ionen verhalten, auf den Draht zuwandern und sich an seiner Oberfläche niederschlagen[2]). Die Antennengebilde der drahtlosen Telegraphie erfüllen hiernach beide Bedingungen. Sie sind bei Aufladung mit Hochfrequenz wenigstens zeitweilig auf hohe negative Spannungen geladen und stellen in der ganzen Zwischenzeit ein dem natürlichen Erdfeld ausgesetztes Leitergebilde vor. Es ist also, wie schon im vorigen Abschnitt kurz angeführt wurde, zu erwarten, daß sie an ihrer Oberfläche mit radioaktiven Substanzen behaftet sind. Da ein derartig mit Induktionen überzogener Leiter um sich einen Luftzylinder wesentlich größerer elektrischer Leitfähigkeit, als sie sonst der umgebenden Luft zukommt, mit einem Halbmesser gleich der Reichweite der α-Strahlen haben muß, so erschien im Hinblick auf die Vorgänge beim Senden und Empfangen elektrischer Wellen eine experimentelle Untersuchung des ungefähren Betrages dieser Leitfähigkeitserhöhung wünschenswert zu sein.

Mit entgegenkommendster Genehmigung des Herrn Prof. Ebert führte auf meine Veranlassung Herr Lehramtskandidat Kernstock in Anlehnung an die Kurzsche Abhandlung diesen Teil der Arbeit selbständig durch.

Methode.

Zum Nachweise der radioaktiven Stoffe diente die übliche elektrische Methode. Der zu untersuchende Draht wird nach der Exposition an der Antenne aufgerollt in den Zerstreuungsraum eines Elektrometers gebracht und der zeitliche Spannungsrückgang an dem vorher aufgeladenen Elektrometer beobachtet. Der Spannungsmeßbereich dieses Elektrometers muß dabei so beschaffen sein, daß in dem Zerstreuungsraum bei der betreffenden Untersuchung „Sättigungsstrom" herrscht, d. h. das Potentialgefälle zwischen dem „Zerstreuungskörper" und dem aktivierten

---

[1]) Elster u. Geitel, Phys. Zeitschr. 4, 526, 1903; 4, 96, 1902; 3, 305, 1902.

[2]) K. Kurz, Abhandl. d. Kgl. Bayr. Akademie der Wissensch. Math. Phys. Klasse, XXV. Bd., 1. Abh.

Draht muß so groß sein, daß alle in der Zeiteinheit in dem Felde gebildeten Ionen eines Vorzeichens, ehe sie durch Wiedervereinigung sich haben neutralisieren können, an den Zerstreuungskörper getrieben werden. Aus dem für die Zeit t in Sekunden ermittelten Spannungsrückgang Δ V in Volt und der Kapazität des Elektrometers mit Zerstreuungskörper C in cm st. E. kann man den Betrag des Sättigungsstromes, den die im Zerfall begriffenen radioaktiven Substanzen unterhalten können, einfach berechnen. Bedeutet I das Maß des Sättigungsstromes in st. E., so gilt einfach

$$I = C \frac{\Delta V}{t \cdot 300} \text{ st. E.} \qquad 1)$$

Kennt man ferner das Volumen R des vom Feld erfüllten Raumes in dem pro cm^3 in der Sekunde im Mittel q Ionenpaare erzeugt werden, die sämtlich zum Zerstreuungskörper wandern, und bedeutet ε die Ladung eines Iones, also nach Einleitung Seite 8 $4{,}7 \cdot 10^{-10}$ st. E., so muß für den Betrag des Sättigungsstromes andererseits die Beziehung gelten, daß

$$I = R \cdot q \cdot \varepsilon \text{ st. E.} \qquad 2)$$

Aus 1 und 2 kann man den Wert für q ermitteln. Es folgt:

$$q = \frac{C \cdot \Delta V}{300 \cdot R \cdot \varepsilon \cdot t} \text{ Ionen} \qquad 3)$$

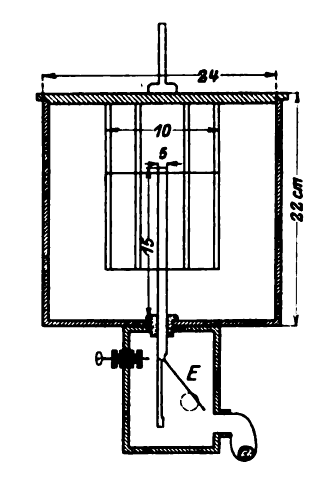


Abb. 42. Elektrometer mit Zerstreuungsraum nach Schmidt.

Ermittelt man so die Zahl der Ionenpaare, die der dem Zerstreuungskörper zugekehrte Teil der Drahtwindungen pro Sekunde erzeugt zu bestimmten aufeinanderfolgenden Zeiten (Abklingungskurve), so kann man einen Rückschluß auf die Zahl der von der ganzen aktivierten Oberfläche erzeugten Ionenpaare machen für die Zeit rückwärts, als der Draht noch im Freien exponiert war. Für die Ionenbildungszahl in dem umgebenden Luftzylinder ergeben sich dann wenigstens ungefähre Überschlagswerte.

Beschreibung der Anordnung.

Elektrometer.

Das bei der Untersuchung benützte Elektrometer mit Zerstreuungsraum Schmidtscher Konstruktion[1]) ist in Abbildung 42 im schematischen Schnitt und in Abbildung 43 in einer Außenansicht wiedergegeben. Der durch einen Hartgummistopfen isolierte Träger des Elektrometers trägt nur ein Aluminiumblättchen. An seinem freien Ende ist dann ungefähr ein 10 mm langer äußerst dünn ausgezogener Glasfaden angekittet, dessen Wandern durch das Gesichtsfeld eines Mikroskopes von etwa 50 facher Vergrößerung und 100 teiliger Okularskala beobachtet wird.

[1]) H. W. Schmidt, Phys. Zeitschr. 6, 561, 1905.

Zur Aufladung dient ein besonderer in das Instrument isoliert eingeführter umlegbarer Ladestift. Die Trocknung geschieht durch ein seitlich kommuniziertes Glaskölbchen mit metallischem Natrium. In dem auf das Elektrometergehäuse fest aufgebrachten, außen zur Vermeidung photoelektrischer Effekte schwarz gebrannten Zerstreuungsraum von 24 cm Durchmesser und 22 cm Höhe ragt der 15 cm lange und 5 mm starke Zerstreuungskörper aus Messingdraht. Der gut eingespannte Deckel trägt an der inneren Seite symmetrisch zur Achse des zylindrischen Raumes 6 Messingstäbe, die mit zwei versteifenden Messingblechringen die Spule für den zu prüfenden Draht bilden. Der Durchmesser dieses Spulenkörpers beträgt 10 cm. Um den im Freien exponierten Draht möglichst ohne Zeitverlust aufspulen zu können, hat der Deckel auf der Außenseite axial einen Ansatz, der in einer kleinen mit Übersetzung laufenden „Schwungmaschine" eingeklemmt werden kann.

Die Eichung des Instruments hinsichtlich V und C Formel 3 geschah in der üblichen Weise.

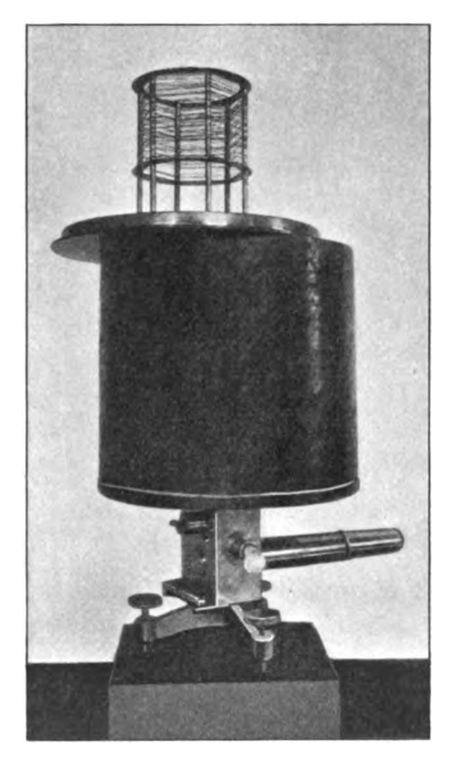


Abb. 43. Äußeres des Elektrometers.

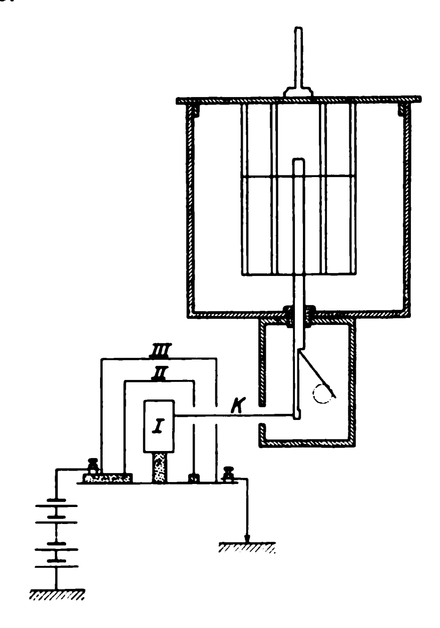


Abb. 44. Kapazitätseichung.

Spannungseichung.

Da es nach Schmidt[1]) bei Beobachtung von Sättigungsströmen nicht empfehlenswert ist, eine direkte Eichung zwischen Skalenteilausschlägen und Spannungsbeträgen herzustellen, wurde nach der von ihm angegebenen Methode verfahren.

Man ladet zunächst das Elektroskop auf und ruft mit Hilfe einer konstanten Strahlungsquelle, hier einem auf dem Deckel des Zerstreuungsraumes aufgesetzten

---

[1]) H. W. Schmidt, Phys. Zeitschr. 7, 157, 1906.

Radiumpräparat, eine Zerstreuung hervor. Alsdann beobachtet man die Zeiten, die der Elektrometerzeiger gebraucht, um von dem äußersten benutzten Skalenteil zu den folgenden (hier jedem fünften) zu gelangen. Diese Zeiten sind proportional den Spannungsdifferenzen, die zwischen den Grenzskalenteilen der jeweils betrachteten Intervalle bestehen. Durch einfache Interpolation kann man die Potentiale für sämtliche dazwischenliegende Teilstriche erhalten. Die Grenzskalenteile wurden mit Hilfe einer Bornhäuser Akkumulatorenbatterie und eines größeren Präzisionswestonvoltmeters dreimal, zweimal vor Beginn und einmal nach Beendigung aller Versuche festgelegt. Da es bei den Sättigungsstrommessungen nie auf die Beobachtung direkter Spannungen, sondern nur auf die Ermittlung von Spannungsunterschieden ankommt, ist diese Spannungseichung relativ unwesentlich. Die Genauigkeit der Methode beruht vielmehr namentlich auf der Langsamkeit, mit der das Blättchen bei der Eichung wandert. Tabelle 6 enthält die Ergebnisse von 5 so angestellten Beobachtungsserien.

Tabelle 6.

Spannung in Volt	Intervall der Skalenteile	Zeit in Sekunden
	15—20	18,15
	20—25	18,43
	25—30	18,70
331,5	30—35	18,95
	35—40	19,20
	40—45	19,42
	45—50	19,65
	50—55	19,85
	55—60	20,05
	60—65	20,24
	65—70	20,40
	70—75	20,55
312,5	75—80	20,70
	80—85	20,81
	85—90	20,93

Kapazitätseichung.

Die Kapazitätsbestimmung wurde nach der Methode von Harms[1]) mit einem von Harms angegebenen Normalkondensator bekannter Kapazität c und Bindungszahl b ausgeführt.

Bei der Messung bildet man zunächst aus dem Elektrometer und dem Zylinder I des Harmschen Kondensators (Abb. 44) ein System. Da bei völlig zusammengesetzten Instrumentarium, für welches sinngemäß der Kapazitätswert bestimmt werden muß, zunächst das Innensystem des Elektrometers unzugänglich ist, so benutzte Herr Kernstock den Vorteil, durch die sonst mit dem Trockengefäß verschlossene Öffnung den Kontakt mit dem Blättchenträger und Zerstreuungskörper

[1]) Harms, Phys. Zeitschr. 5, S. 47, 1904.



herstellen zu können. Die Kapazität dieser Teile in Verbindung mit dem Zylinder I besitze den Wert K. Zur Ermittlung von K führt man folgende Operationen aus.

Während K geerdet ist, verbindet man Zylinder II mit dem Pole einer anderen Pols geerdeten und mit Westonvoltmeter geeichten Hochspannungsbatterie von $V_1 = 400$ Volt Spannung. Auf Zylinder I wird durch Influenz eine Elektrizitätsmenge $b\,V_1$ gebunden. Isoliert man nun das System K und erdet Zylinder II, so wird die bis dahin gebundene Elektrizitätsmenge $b\,V_1$ frei und das System K auf die am Elektrometer selbst abzulesende Spannung V_2 geladen. Es gilt dann

$$b\,V_1 = K\,V_2 \qquad \text{oder} \qquad K = b\,\frac{V_1}{V_2}.$$

Unter Verwertung von K kann man die gesuchte Kapazität C dann so erhalten: Zylinder II bleibt dauernd an Erde und K wird zu einer Spannung V_3 aufgeladen, sodaß also auf K eine Elektrizitätsmenge von $K\,V_3$ gebunden ist. Der Harmsche Kondensator wird nun weit vom Elektrometer entfernt und dadurch das System getrennt. Da hierdurch die leitenden Massen in eine andere gegenseitige Konfiguration kommen, ändert sich der Elektrometerausschlag und es bleibt auf dem Elektrometer eine Elektrizitätsmenge $C\,.\,V_4$. Entlädt man nun das Elektrometer und vereinigt darauf das System K wieder, so verteilt sich die Ladung des Harmschen Kondensators auf K und lädt es zu einer Spannung V_5 auf, die am Elektrometer abgelesen werden kann. Die Bilanz dieser Operation ist

$$K\,V_3 - C\,V_4 = K\,V_5$$

Daraus ergibt sich der gesuchte Wert C als

$$C = K\,\frac{V_3 - V_5}{V_4}\ \text{cm}.$$

Als Mittel aus 10 Einzelmessungen folgt für K der Wert 51,3 cm und für C 6,31 cm.

Eichung auf Ionenzahl.

Die eigentliche bei den Messungen benutzte Eichtabelle wurde so angelegt, daß berechnet wurde, wie viele niedergeschlagene Ionen dem Rückgang des Blättchens um einen Skalenteil an den verschiedenen Stellen der Skala entsprechen. Dieser Betrag wurde in Intervallen von je 5 Skalenteilen als konstant angesehen.

Die Ablesungen beschränken sich nach Möglichkeit auf Beobachtungen in dem mittleren Bereich zwischen Skalenteil 30 und 75. Da dem Skalenteil 30 eine Spannung von 331,3 Volt zukommt und dem Skalenteil 75 eine Spannung von 312,5 Volt, umfaßt der Meßbereich eine Spannungsänderung von 18,8 Volt.

Bei der Entladung mit radioaktiven Substanzen vollzog sich dieser Spannungsrückgang des vorher aufgeladenen Elektroskopes nach Tabelle 6 in 178,3 Sekunden. Der Spannungsverlust des Elektroskopes betrug also pro Sekunde $\frac{18{,}8}{178{,}3}$ Volt. Aus Tabelle 6 läßt sich entnehmen, daß beispielsweise zum Durchlaufen des Inter-



valles zwischen dem 55,0 bis 60,0 Skalenteil $t_5 = 20{,}05$ Sekunden erforderlich war. Dieses Intervall umfaßt also eine Spannungsänderung von

$$\frac{18{,}8}{178{,}3} \cdot 20{,}05 \text{ Volt.}$$

Auf einen Skalenteil des Intervalles trifft der fünfte Teil, also

$$\frac{18{,}8}{178{,}3} \cdot \frac{20{,}05}{5} \text{ Volt.}$$

Allgemein entspricht somit einem Skalenteil ein Spannungsabfall Δ V von

$$\Delta V = \frac{18{,}8}{178{,}3 \,.\, 5} \,.\, t_5 = 0{,}021\, t_5 \text{ Volt} \quad \ldots \ldots \quad 4)$$

Nach Abschnitt II Gleichung 3) gilt

$$q = \frac{C \,.\, \Delta V}{300 \,.\, R \,.\, \varepsilon \,.\, t} \frac{\text{Ionen}}{\text{sec}} \quad \ldots \ldots \quad 3)$$

Ermittelt man also nach 4) aus Tabelle 6 für die einzelnen Intervalle den entsprechenden Spannungsrückgang Δ V und führt die Werte in 3) ein, so erhält man die jedem Skalenteil entsprechende niedergeschlagene Ionenzahl. Dabei ist aber zweierlei zu beachten.

Erstens ist das Volumen R nicht der Inhalt der gesamten Ionisierungskammer, sondern nur der vom Feld erfüllte Raum. Da bei der Herstellung der Ionisierungskammer auf eine gute Definition von R nicht Rücksicht genommen war, ist der der folgenden Berechnung zugrunde gelegte Wert von 1180 cm, der einem Luftzylinder vom Querschnitte der Drahttrommel und der Höhe des Zerstreuungsstabes entspricht, einigermaßen unsicher. Die Unbestimmtheit dieses Wertes bleibt glücklicherweise für das Endergebnis belanglos.

Zweitens ist zu beachten, daß die Drahttrommel das Feld nur mit ihrer Innenseite begrenzt, daß also nur ein Teil der vom Draht ausgesandten α-Teilchen in das Feld gelangt. Es wurde näherungsweise angenommen, daß etwa die Hälfte aller α-Teilchen in dem feldfreien Teil des Gefäßes ionisierend wirkt, also die Hälfte aller gebildeten Ionen für den Nachweis verloren geht. Der sich aus 3 berechnende Wert bezeichnet also nur die Hälfte der pro Sekunde erzeugten Ionen. Unter Rücksichtnahme auf diese spezielle Versuchsanordnung ist damit endgültig zu setzen

$$q' = \frac{2 \,.\, C \,.\, \Delta V}{300 \,.\, R \,.\, \varepsilon \,.\, t} \frac{\text{Ionen}}{\text{sec}} \quad \ldots \ldots \quad 5)$$

Setzt man in 5) die Werte für C, R und ε als 6,31 cm, 1180 cm^3, und $4{,}7 \,.\, 10^{-10}$ st. E. ein, so ergibt sich

$$q' = 7{,}59 \,.\, 10^4 \frac{\Delta V}{t} \frac{\text{Ionen}}{\text{sec}}.$$

Für die einzelnen Intervalle folgt als Zusammenstellung Tabelle 7, die die Eichung der Skala nach niedergeschlagenen Ionenzahlen vorstellt. Dividiert man die Ionenzahl pro Skalenteil durch die Zeit in Sekunden, die zur Durchwanderung dieses Skalenteiles erforderlich war, so erhält man das gesuchte q', d. h. die Zahl der pro sec im cm^3 neugebildeten Ionen.



Tabelle 7.

Intervall	Δ V	q′ × t
15—20	0,382	$2{,}19 \times 10^4$
20—25	0,388	$2{,}95 \times 10^4$
25—30	0,394	$3{,}00 \times 10^4$
30—35	0,398	$3{,}03 \times 10^4$
35—40	0,404	$3{,}07 \times 10^4$
40—45	0,410	$3{,}11 \times 10^4$
45—50	0,415	$3{,}15 \times 10^4$
50—55	0,420	$3{,}18 \times 10^4$
55—60	0,424	$3{,}21 \times 10^4$
60—65	0,428	$3{,}24 \times 10^4$
65—70	0,431	$3{,}27 \times 10^4$
70—75	0,434	$3{,}30 \times 10^4$
75—80	0,436	$3{,}32 \times 10^4$
80—85	0,438	$3{,}34 \times 10^4$
85—90	0,440	$3{,}36 \times 10^4$

Ausspannen und Einholen des Drahtes.

Die Aktivierung der Drähte erfolgte an Mast 9 der Sendstation, solange er noch nicht mit Schirmantenne ausgerüstet war. Ein ungefähr 40 m langer 0,3 mm starker Kupferdraht wurde an einer Schnur ohne Ende, wie es Skizze 45 erkennen läßt, an den äußersten Punkt der oberen Rahe aufgeheißt. Die Schnur wurde durch drei Ringe A, B, C geführt; Ring A und B waren an kurzen mit etwa 10 m Abstand in den Boden getriebenen Pfählen festgemacht, ihre Entfernung vom Antennenmast betrug ca. 6 m. Die Schnur mußte so weit auseinandergehalten werden, da bei der großen Höhe leicht ein Verschlingen eintritt. Um ein Verdrillen des Drahtes mit der Schnur zu verhüten, wurde der Draht an dem freien Eckpunkt eines aus Holzstäbchen gebildeten Dreiecks, dessen eine Seite an der Schnur befestigt war, eingehakt. Gegen Holz und Schnur war der Draht oben durch einen Gockelträger isoliert. Das untere Ende wurde möglichst weit vom Mast weggeführt, so daß der Draht frei exponiert war. Das Ende lag an Erde, wenn der Draht durch das Erdfeld allein aktiviert werden sollte, oder es war an den Schwingungskreis der Sendestation angeschlossen, wenn der Draht mit Hochfrequenz beschickt werden sollte. Nach Schluß der Aktivierung wurde der Draht auf die schon beschriebene Trommel auf der Innenseite des Deckels der Ionisierungskammer aufgespult. Der Deckel wurde zu dem Zwecke mit dem äußeren Zapfen auf die aufrecht an einem Tisch festgeklemmte Schwungmaschine gesteckt und unter raschem Drehen der an die Trommel gehakte Draht eingeholt. Damit eine Überlagerung mehrerer Drahtwindungen nicht stattfand, wurde der Draht mit einem Glasstäbchen an die richtige Stelle geleitet. Besondere Versuche hatten ergeben, daß der Verlust an radioaktiven Substanzen dabei höchstens 5 bis 6 % betragen kann. Beim Aufrollen blieb der Draht dadurch gespannt, daß die Schnur in den drei Ringen soviel Reibung hatte, daß sie gerade ohne größere Anstrengung nachgab. Der aufgerollte Draht wurde unverzüglich in die Ionisierungskammer des in Schuppen 4 aufgestellten Elektrometers gebracht. Es

konnte dann sofort das Wandern des Elektrometerblättchens durch das Gesichtsfeld des Mikroskops beobachtet werden. Isolationsmessungen und Kontrollbeobachtungen wurden tunlichst oft angestellt und bei der Auswertung berücksichtigt.

Konstanten des Hochfrequenzkreises.

Die drahtlos-telegraphische Anordnung, die gestattete, den vertikal gespannten Draht als Sendeantenne zu benutzen, ist der in Skizze 9 in der Beschreibung der Station auf Seite 15 beschriebene Braunsche Sender. Da eine gut funktionierende Anordnung für ungedämpfte Schwingungen nicht zur Verfügung stand, empfahl sich der relativ stark strahlenden Linearantenne wegen diese Braunsche Erregung. Die Konstanten des Schwingungskreises wurden nicht variiert und hatten folgende Werte: Die aus zwei in Serie geschalteten Leydener Flaschen bestehende Kapazität C des Primärkreises betrug 0,0023 Mf, die Selbstinduktionsspule L besaß 3970 cm. Daraus ergibt sich als λ nach der Formel $\lambda = 6\,\pi\,\sqrt{L\,C}\,.\,10^8$ m der auch mit einem geeichten Wellenmesser kontrollierte Wert von $\lambda =$ 180 m.

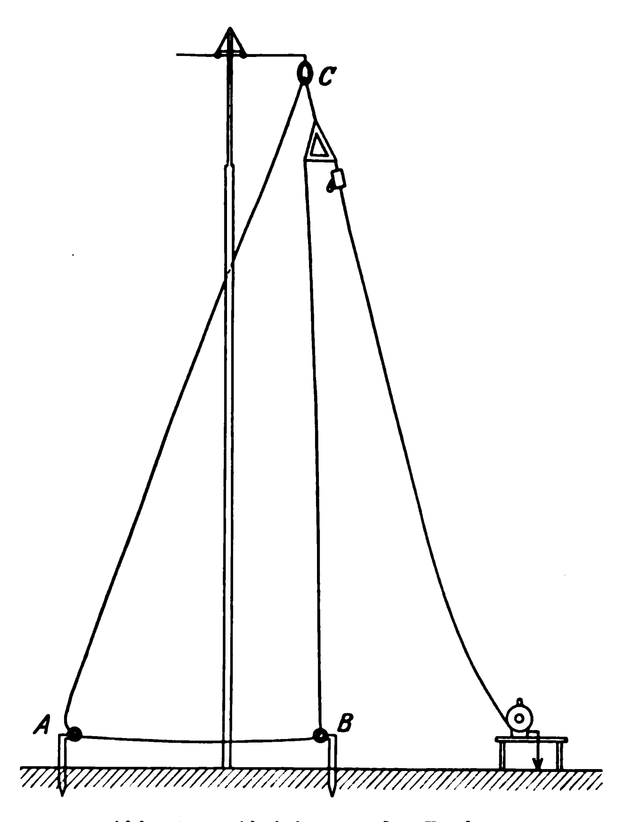


Abb. 45. Aktivierung des Drahtes.

Da die Antennenlänge von 40 m dem Betrage von $\frac{\lambda}{4}$ sehr nahe kommt, genügten wenige Windungen einer Verlängerungsspule zur Abstimmung des galvanisch lose mit dem Primärkreis gekoppelten Drahtes auf die Grundschwingung.

Als Dämpfungsdekrement ergab sich ein Wert von etwa 0,15, es konnte also angenommen werden, daß etwa 20 bis 30 Schwingungen von merkbarer Spannungsamplitude auf der Antenne vorhanden waren. Bei der stets möglichst gleichgehaltenen Tourenzahl der Turbine fanden pro Sekunde 20 Funkenübergänge statt. Die Zeit, während der die Antenne pro Sekunde unter Schwingungen stand, ergibt sich also zu

$$0{,}6\,.\,25\,.\,20\,.\,10^{-7}\ \text{sec oder}\ 3\,.\,10^{-5}\ \text{sec},$$

d. h. der Bruchteil der Zeit, in welcher die Antenne unter Schwingungen stand, ist zwar verschwindend klein gegenüber der Zeit, in welcher sie durch die am anderen



Ende geerdete Koppelung an Erde lag. Immerhin entsprechen diese Verhältnisse denen der drahtlostelegraphischen Praxis.

Bei 170 Watt Primärenergie konnte in dem Registrierschuppen 7 die von dem Versuchsdraht ausgestrahlte Energie mit 1 bis 2 cm Galvanometerausschlag registriert werden.

Untersuchung.

Die Ausführung der Untersuchungen verursachte mehr Schwierigkeiten, als anfänglich vorauszusehen waren. Eine nicht geringe Zahl begonnener Expositionen wurde unbrauchbar, da sich während des Versuches das Wetter ungünstiger gestaltete. Bei Wind erforderte das Einholen des Drahtes gesteigerte Aufmerksamkeit;

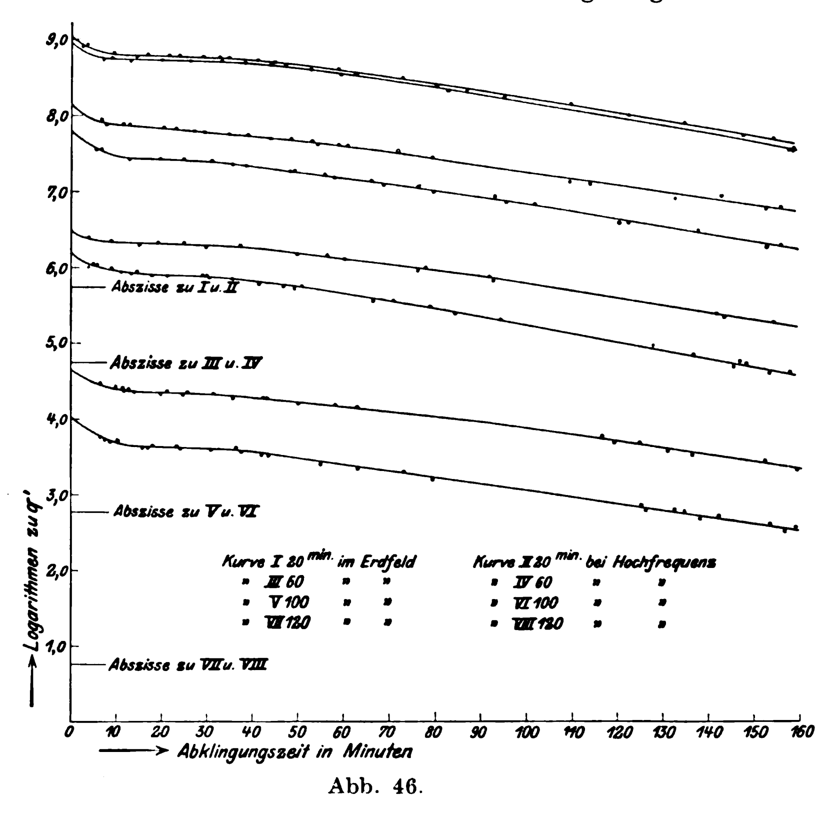


Abb. 46.

in mehreren Fällen war es nicht zu vermeiden, daß der Draht unklar wurde oder riß. Niederschläge und Gewitter schlossen weitere Exposition aus. In den meist ruhigen und klaren Abendstunden traten der größeren relativen Feuchtigkeit wegen Unannehmlichkeiten dadurch auf, daß sich die Isolation unkontrollierbar änderte und die Aufladung des Elektrometers nicht genügend gelang.

Abklingungskurven im Erdfeld und bei Hochfrequenz.

Bei der graphischen Darstellung der beobachteten Abklingungskurven (Abb. 46) wurden des gradlinigeren Verlaufes wegen die Logarithmen der pro cm^3 und sec



gebildeten Ionenzahlen als Ordinaten aufgetragen. An sich ist es, wie Schmidt[1]) und Kurz[2]) gezeigt haben, möglich, die Kurven auf das prozentische Vorhandensein der verschiedenen radioaktiven Niederschläge zu analysieren. Es ist nur erforderlich, die Abklingungskurven über vier Stunden hinaus zu verfolgen, eine Zeit, in der praktisch alle Radiuminduktionen verschwunden sind. Nach diesen vier Stunden wirken allein noch die Thorprodukte. Man kann deren Anteil an der Ionisation für frühere Zeitpunkte berechnen und erhält als Differenz der beobachteten Gesamtionisation und der Thorionisation den auf die Radiuminduktanzen fallenden Anteil. Es ist so auch möglich, den Betrag der Ionisation für die Zeit in welcher der Draht noch exponiert war, rechnerisch festzustellen. Da es sich bei dieser Untersuchung lediglich um die Ermittelung von Größenanordnungen handelt, ist von der Zerlegung abgesehen und der Anfangswert durch graphische Extrapolation bestimmt worden. Die Kurven sind willkürlich übereinander angeordnet. Die zu jeder Kurve gehörige Abszisse ist deshalb links besonders vermerkt.

Im allgemeinen wurde so verfahren, daß eine gleich lange Exposition des Drahtes unter dem Erdfeld allein und unter Hochfrequenz möglichst an demselben Tage bei gleicher Wetterlage zustande kam. Die Expositionsdauer T betrug 20, 60, 100 oder 120 Minuten. Bei der Aktivierung durch das Erdfeld allein ergeben sich die in der beistehenden Tabelle 8 aufgeführten Anfangswerte.

Tabelle 8.

Aktivierung im Erdfeld allein

Aktivierungsdauer T	Zahl der pro cm^3 und sec im Feld erzeugten Ionen q′
20 min	$2{,}03 \times 10^4$
60 „	$2{,}93 \times 10^4$
100 „	$5{,}60 \times 10^4$
120 „	$8{,}26 \times 10^4$

Die niedergeschlagenen Mengen radioaktiver Substanzen nehmen mit größer werdender Expositionsdauer zu. Wenn die Antenne dauernd im Erdfeld hängt, wird nach einer gewissen Zeit ein stationärer Zustand durch Ablagerung von radioaktiven Substanzen herbeigeführt werden. Dieser Zustand ist erreicht, wenn auf dem Draht radioaktives Gleichgewicht herrscht., d. h. wenn in der Zeiteinheit ebensoviel Substanz verschwindet als abgelagert wird. Dieser Maximalwert stellt sich nach etwa vier Stunden ein. Bei zweistündiger Aktivierung sind etwa 92 % des Maximalwertes erreicht. Wenn man diesen Zuwachs bei der zweistündigen Exposition berücksichtigen darf, ergibt sich für q′ ein Maximalwert von

$$q' = 8{,}92 \,.\, 10^4 \frac{\text{Ionen}}{\text{cm}^3\,\text{sec}}$$

[1]) H. W. Schmidt, Annalen der Physik 21, S. 627, 1906.

[2]) K. Kurz, Abh. der Kgl. Bayr. Akademie der Wissensch. Math. Phys. Klasse, XXV. Bd. 1. Abh.

Für die Abklingungskurven der radioaktiven Induktionen, die bei der Beschickung des Drahtes mit Hochfrequenz niedergeschlagen wurden, ergaben sich die in Tabelle 9 verzeichneten Anfangswerte.

Tabelle 9.

Aktivierung bei Hochfrequenz.

Aktivierungsdauer T	Zahl der pro cm^3 und sec im Feld erzeugten Ionen q'
20 min	$1,45 \times 10^4$
60 „	$1,45 \times 10^4$ (?)
100 „	$2,68 \times 10^4$
120 „	$1,58 \times 10^4$

Es ergibt sich daraus, daß entgegen der ursprünglichen Erwartung, einmal die niedergeschlagenen Mengen stets kleiner sind, als wenn der Draht gleich lange ohne Hochfrequenz exponiert war und daß zweitens die niedergeschlagenen Mengen bei zunehmender Expositionsdauer nicht viel größer werden.

Dieser Experimentalbefund kann in einem gewissen Zusammenhange stehen mit einer Beobachtung, die Houlevigue[1]) 1909 machte. Houlevigue untersuchte mit einem Ebertschen Ionenzähler die Umgebung einer ± 50 000 Volt führenden Hochspannungsleitung und fand, daß die Zahl der positiven und negativen Ionen, die in der Umgebung der untersuchten Leitung vorhanden sind, äußerst gering sei, jedenfalls kleiner als in der umliegenden Gegend.

Die Frage, in wieweit ein vorher allein im Erdfeld aktivierter Draht durch die Beschickung mit Hochfrequenz von der Aktivität befreit werden kann, mit anderen Worten, inwieweit sich eine Antenne nach längerem Senden anders verhält als zuvor, wurde nicht untersucht. Es dürfte von Interesse sein, wenn die hier von Herrn Kernstock gefundenen Ergebnisse von anderer Seite bestätigt und erweitert werden könnten. Eine theoretische Klärung der Verhältnisse erscheint zurzeit noch undurchführbar.

Ionenbildungszahl und Leitfähigkeit in der Nähe der Oberfläche der Antenne.

Das bisherige Material reicht immerhin aus, über den Zustand der Luft in der Umgebung einer Antenne einige Aussagen machen zu können. Wenn man annimmt, daß die Reichweite der für die Ionisation fast ausschließlich in Frage kommenden α-Teilchen maximal 5 cm beträgt, so ist der durch die radioaktiven Anreicherungen beeinflußte Raum durch einen Luftzylinder gegeben, der koaxial mit diesem Halbmesser den Draht umgibt. An den oberen Teilen des Drahtes werden die Anreicherungen stärker sein als an den unteren. Sieht man zunächst hiervon ab und verteilt man die in dem Ionisierungsgefäße pro cm^3 und sec neu gebildeten Ionen gleichförmig

---

[1]) L. Houlevigue, Comptes rendus, 1909, Nr. 25.

auf diesen Zylinderraum, so kommt man zufolgendem Ergebnis: Der Zylinder hat bei 40 m Drahtlänge ein Volumen von

$$\pi \,.\, 5{,}0^2 \,.\, 40 \,.\, 10^2 = 3{,}14 \,.\, 10^5 \text{ cm}^3.$$

Der Ionisierungsraum besitzt ein Volumen von 1180 cm^3. In jedem cm^3 wurden maximal pro sec $8{,}92 \,.\, 10^4 \, \frac{\text{Ionen}}{\text{cm}^3}$, zusammen also

$$1{,}18 \,.\, 8{,}92 \,.\, 10^7 = 1{,}05 \,.\, 10^8 \, \frac{\text{Ionen}}{\text{sec}}$$

erzeugt. Auf 1 cm^3 des die Antenne umgebenden Zylinders kommen also

$$\frac{1{,}05 \,.\, 10^8}{3{,}14 \,.\, 10^5} = 325 \text{ neugebildete Ionen pro sec.}$$

Gibt man die Zahl der pro cm^3 und sec normal im Freien entstehenden Ionenzahl mit rund 10 an, einem Wert, der bei einem Wiedervereinigungskoeffizienten von ca. $2{,}5 \,.\, 10^{-6}$ ca.

$$n = \sqrt{\frac{10}{2{,}7 \,.\, 10^{-6}}} = 2000 \text{ Ionen}$$

eines Vorzeichens ergeben würde, so ergibt sich im Mittel die Bildungszahl q' über 30 mal größer als die normale. (Mit dem Ebertschen Ionenzähler, dem allerdings die trägen Ionen entgehen, wurden im Maximum in Gräfelfing 1420 und 1680 Ionen eines Vorzeichens gezählt.) Nimmt man darauf Rücksicht, daß in der Nachbarschaft des Drahtes die Gefälle mit zunehmender Höhe wachsen (vgl. Abschnitt I) so wird man sagen können, daß die angenommene mittlere Verteilung in Natur nicht erfüllt sein wird, daß vielmehr die oberen Teile auf Kosten der unteren erheblich stärker beschlagen sein werden. Kurz[1]) hat in Gießen mit dreifach unterteilten Drähten Versuche angestellt und gefunden, daß sich die Aktivitäten der drei Drahtlängen von unten nach oben verhalten wie 1 : 5,0 : 8,4. Ehe genauere Zahlen vorliegen, wird man annehmen können, daß der Größenordnung nach die Ionenbildungszahl in der Nachbarschaft eines 40 m hochgeführten Drahtes an den oberen Teilen rund das 100 fache der normalen betragen wird.

Mit den erhöhten Ionenbildungszahlen erfährt die Leitfähigkeit λ des den Draht umgebenden Luftzylinders gleichzeitig einen Zuwachs. Man kann den Betrag dieser Leitfähigkeit nur angeben für eine Zeit, in welcher der Draht nach vorheriger Exposition dem Felde entzogen ist. Es ergibt sich dann aus

$$n = \sqrt{\frac{q}{\alpha}} \text{ und } \lambda = \varepsilon \left(\overset{+}{n} \overset{+}{v} + \overset{-}{n} \overset{-}{v} \right)$$

für λ die Leitfähigkeit:

$$\lambda \backsim 80 \,.\, 10^4 \text{ st. E.}$$

---

[1]) Kurz, l. c. 29.

III. Die Strömungserscheinungen in der Antenne.

Verschiedene Stromformen in der Antenne.

Bereits in der Einleitung sowie im I. Abschnitt ist die Tatsache berührt worden, daß ein Luftdrahtgebilde, das im elektrostatischen Erdfeld eine Vertikalerstreckung besitzt, an den atmosphärisch-elektrischen Ausgleichserscheinungen beteiligt ist. Es ist die Aufgabe dieses Abschnittes, die Art dieser Erscheinungen, die sich beim Geltenlassen mehrerer Vernachlässigungen einigermaßen einfach gestalten, näher zu erörtern.

Es ist dabei fraglich, ob das vereinfachte theoretische Bild, so wie es hier gegeben werden kann, tatsächlich hinreichend vollständig ist, jedenfalls wird es bis auf weiteres dem Praktiker insoweit genügen können, als das am Schlusse des Abschnittes mitgeteilte Beobachtungsmaterial keine deutlichen Widersprüche gegen das Bild ergibt.

Wenn man von der Stromführung einer Antenne in dem Falle absieht, daß sie selbst gerade sendet oder von elektromagnetischen Wellen anderweiten Ursprungs getroffen wird, so können zweierlei Stromformen in ihr erwartet werden.

Einmal wird man in einer geerdeten Antenne Ströme von Gleichstromcharakter erwarten dürfen, als Wirkung aller der Ursachen, die wenigstens für einige Sekunden konstante Parameter besitzen.

Zweitens aber läßt sich annehmen, daß in der Antenne auch Hochfrequenzströme auftreten. Da sie ein elektrisch schwingungsfähiges Leitergebilde vorstellt, werden alle elektrischen Gleichgewichtsstörungen, seien sie durch Schwankungen des Stromes von Gleichstromcharakter, durch Änderung der Ladungsverteilung oder auf andere Art erzeugt, sich oszillatorisch mit der Eigenperiode und Dämpfung der Antenne ausgleichen müssen.

Komponenten des Gleichstromes.

Der in einer geerdeten Antenne bei Schönwetterlage und Windstille fließende Strom von Gleichstromcharakter I wird sich darstellen lassen als eine Summe

$$I = I_1 + I_2 + \ldots + I_n \qquad 6)$$

deren einzelne Glieder I_1 bis I_n verschiedene Ursachen haben und in verschiedener Weise von den Dimensionen der Antenne abhängen. Nach dem jetzigen Stande unserer Erfahrung kann man etwa drei derartige Glieder für Schönwetterlage abschätzen, dazu können aus bestimmten Anlässen weitere Störungsglieder treten.



Ausgleichsstrom.

Das erste und vielleicht wesentlichste dieser Glieder I_1 ist bereits in Abschnitt I auf Seite 33 von mir abgeleitet worden. Die Antenne dient bei dem Elektrizitätsaustausch Atmosphäre - Erde als Elektrode. Durch den Erdungsquerschnitt des Antennenleiters muß ein Strom fließen, der nahezu gleich dem Strom durch den an dieser Stelle definierten Antennenluftquerschnitt angenommen werden kann. Bezeichnet i den normalen vertikalen Leitungsstrom und die Höhe der Antenne, so gilt näherungsweise

$$\underset{\text{Linearantenne}}{I_1} = \frac{\pi}{4} \, i \, l^2 \text{ Ampere} \quad \text{7 a)}$$

und

$$\underset{\text{Schirmantenne}}{I_1} = \pi \, i \, l^2 \text{ Ampere} \quad \text{7 b)}$$

Dieser Strombetrag dürfte von dem Drahtmaterial, seiner Oberflächenbeschaffenheit usf. in hohem Grade abhängig sein. Er wird hinsichtlich seines Vorzeichens und seiner Richtung durchaus von dem jeweiligen Betrag des vertikalen Leitungsstromes abhängen und soll im folgenden stets als Antennenausgleichsstrom bezeichnet werden.

Kollektorstrom.

Das zweite der hier zu betrachtenden Glieder ist erheblich weniger einfacher Natur. Ein das Feld deformierender Leiter kann sich mit seiner Umgebung auch dann elektrisch ausgleichen, wenn das Medium von sich aus keine elektrische Leitfähigkeit besitzt. Es muß nur die Oberfläche des Leiters Kollektorwirkung zeigen.

Es sei beispielsweise eine Linearantenne angenommen, die an ihrem oberen Ende in zahlreiche scharfe Spitzen ausläuft. Wenn dann das Potentialgefälle in der Nachbarschaft des oberen Endes hinreichend große Werte besitzt, wird eine stille Entladung einsetzen und ein Strom in der Antenne auftreten.

Das so zustande kommende Stromglied I_2, das allerdings wegen der geänderten Leitfähigkeit der Luft nicht ohne jeden Einfluß auf I_1 bleibt, soll im folgenden stets als Kollektorstrom bezeichnet werden.

Während wegen der näherungsweisen praktischen Konstanz des Produktes: „Potentialgefälle mal Leitfähigkeit = vertikaler Leistungsstrom" der Ausgleichsstrom ziemlich unabhängig von dem jeweiligen Wert des Potentialgefälles erscheint, hängt der Kollektorstrom in hohem Grade vom jeweiligen Werte des Potentialgefälles ab.

Da die Zahl der Kollektorwirkungen nicht gering ist, so wird das Glied I_2 seinerseits in mehrere Teilglieder I_{21}, I_{22} usf. zerfallen. Von wesentlicher Bedeutung dürften aber nur zwei Teilglieder sein.

Erstens wird die schon erwähnte Spitzenwirkung bemerkenswerten Einfluß haben. Bei den meisten Antennen der Praxis wird es sich nicht ganz vermeiden lassen, daß an verschiedenen Stellen schärfere Kanten, Knicke usw. des Drahtmaterials auftreten. Je schärfer die Spitze ist, je geringer kann der Wert des benachbarten Potentialgefälles sein, der zum Auftreten der Kollektorwirkung führt. Man darf



sich den Vorgang jedenfalls so vorstellen, daß bei niederen Werten des Potentialgefälles nur die äußersten und schärfsten Spitzen als Kollektoren wirken, daß bei steigenden Werten des Gefälles, je nach dem Überschreiten des für jede Stelle spezifischen Schwellenwertes, auch weniger exponierte Spitzen an der stillen Entladung beteiligt werden. Ein stetiges Schwanken des Potentialgefälles wird so zu einem unstetigen Schwanken des Kollektorstromes führen.

Der Wert dieses Kollektorteilstromes I_{21} wird in erster Näherung wegen der Feldstörung der Höhe der Antenne l proportional sein; er wird weiter abhängen von dem jeweiligen Überschuß des Potentialgefälles $\frac{dV}{dh}$ über einen unwirksam bleibenden Betrag a und endlich einem Faktor A_1, der die Antennenoberfläche hinsichtlich ihrer Spitzen charakterisiert, so daß näherungsweise gilt

$$I_{21} = A_1 \cdot l \cdot \left(\frac{dV}{dh} - a\right) \text{Ampere} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 8)$$

A_1 erhält somit die Dimensionen einer Leitfähigkeit und kann experimentell abgeschätzt werden.

Das zweite (wesentliche) Teilglied des Kollektorstromes ist bedingt durch die auf der Oberfläche der Antennen (nach Abschnitt II) niedergeschlagenen radioaktiven Induktionen. Geradeso wie ein Poloniumkollektor für einen rascheren Ausgleich sorgt, übernimmt hier die gesamte Oberfläche der Antenne, wenn auch an verschiedenen Stellen in verschiedenem Grade, die Ausgleichswirkung. Da die radioaktiven Induktionen sich wie positive Ionen zu verhalten scheinen und so gleichfalls längs der Strömungslinien auf die Oberfläche der Antennenleiter wandern, kann man für diesen Teil des Kollektorstromes ansetzen

$$\underset{\text{Linearantenne}}{I_{22}} = \frac{\pi}{4} \cdot l^2 \cdot A_2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 9\text{a})$$

für eine Linearantenne oder für eine Schirmantenne:

$$\underset{\text{Schirmantenne}}{I_{22}} = \pi \cdot l^2 \cdot A_2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 9\text{b})$$

wobei A_2 den Sättigungsstrom bedeutet, den die durch den Quadratzentimeter des Luftquerschnittes gehenden radioaktiven Induktionen beim Zerfall im Gleichgewicht aufrecht erhalten können. Für den geringen Abstand vom Antennenleiter, in welchen die radioaktiven Substanzen ionisierend wirken, kann man annehmen, daß die zur Aufrechterhaltung des Sättigungsstromes erforderlichen Gefälle bestehen. Es ist wesentlich, zu beachten, daß bei kurz dauernden momentanen Erniedrigungen des Potentialgefälles oder Umkehrungen des Vorzeichens der Teilstrom I_{22} entsprechende Änderungen erfährt; bei dauernder Feldumkehr muß, da sich die Induktionen nur an negativen Elektroden anreichern, das Glied verschwinden. Diese Besonderheiten kommen in der Formel nicht zum Ausdruck. Schwankungen des Luftdruckes dürften ferner auf A_2 nicht ohne Einfluß sein. Die zu einer rohen Ermittelung von A_2 erforderlichen Daten sind im Abschnitt II gewonnen.



Hallwachsstrom.

Das dritte Glied des Gleichstromes ist gegeben durch den Hallwachseffekt. Bei Belichtung mit ultraviolettem Licht treten aus der bestrahlten Oberfläche oder Antennleiter negative Ladungen aus. Diese Wirkung ist stark vom Material abhängig. Bei Phosphorbronze scheint sie nicht erheblich zu sein, bei Aluminiumdrähten sind jedoch höhere Werte zu erwarten. In gewisser Näherung wird gelten:

$$I_3 = \frac{O}{2} A_3 H \text{ Ampere} \quad \text{10)}$$

wobei A_3 den pro cm^2 in den bestrahlten Teil der Oberfläche tretenden Strom bei einer mittleren Flächenhelligkeit von H Einheiten bedeutet. Nachts bei $H = O$ wird das Glied, das stets aus der Atmosphäre gegen Erde fließende Ströme angibt, verschwinden.

Herrscht kein Schönwettercharakter, so können zu diesen drei Gleichstromgliedern weitere Störungsglieder treten. Bei Regen wird das Vorzeichen der Tropfenladung und der Lenardeffekt[1]) eine Rolle spielen. Dampf, Staub und Schneewolken führen häufig erhebliche Ladungen mit sich oder können auf vorhandene Ionen molisierend wirken.

Gesamtstrom.

Sieht man von derartigen ausgesprochenen Störungen ab, so ergibt sich als Strom im Erdungsquerschnitt nach dem vorangehenden folgender Näherungsausdruck: für eine Linearantenne

$$I_L = \frac{\pi}{4} l^2 i + \left(A_1 l \frac{dV}{dh} + A_2 \frac{\pi}{4} l^2\right) + \frac{O}{2} A_3 H \text{ Ampere} \quad \text{11 a)}$$

oder für eine Schirmantenne

$$I_S = \pi l^2 i + \left(A_1 l \frac{dV}{dh} + A_2 \pi l^2\right) + \frac{O}{2} A_3 H \text{ Ampere} \quad \text{11 b)}$$

Es dürfte eine lohnende Spezialaufgabe sein, diese Einzelglieder exakter zu formulieren und den beobachteten Gesamtstrom eingehender zu analysieren, als es sich im Rahmen dieser Untersuchung ermöglichen ließ.

Begnügt man sich mit dem oben aufgestellten Ausdruck, so kann man schätzungsweise die Glieder I_1 und I_{12} aus dem bereits bekannten Material zahlenmäßig angeben.

Für die Gräfelfinger ca. 45 m hohe Schirmantenne ist nach Seite 39 für I_1 ein Betrag zu erwarten vom Betrage:

$$I_1 = \pi \,.\, 4500^2 \,.\, 2{,}0 \,.\, 10^{-16} \text{ Ampere}$$

oder ausgewertet

$$I_1 = 1.27 \,.\, 10^{-8} \text{ Ampere.}$$

Dieser Strombetrag wird sich, da der vertikale Leitungsstrom, auf den er sich stützt, im allgemeinen nur verhältnismäßig geringe Schwankungen aufweist, leidlich konstant vorfinden müssen.

---

[1]) Ph. Lenard, Wied. Ann. 69, 12, 1899.



Der Wert für I_{22} läßt sich nach Seite 51 berechnen. Dort ist gesagt, daß von den radioaktiven Induktionen einer 40 m hohen Linearantenne maximal insgesamt $1,05 \times 10^8$ Ionen pro Sekunde erzeugt werden. Führt man diesen Maximalwert, der wegen der nicht völlig freien Lage der Antenne zum Überschlag brechtigt erscheint, ein, so berechnet sich zunächst der von diesen Ionen unterhaltene Sättigungsstrom I′

$$I'_{22} = 4,7 \,.\, 10^{-10} \,.\, 1,05 \,.\, 10^8 \,.\, 3,33 \,.\, 10^{-10} \text{ Ampere}$$
$$= 1,64 \,.\, 10^{-11} \text{ Ampere.}$$

Aus Formel 9a, kann man hieraus den Wert für A_2 bestimmen, und zwar ist

$$A_2 = \frac{4 \,.\, 1.64 \,.\, 10^{-11}}{\pi \,.\, 4000^2} = 1,31 \,.\, 10^{-18}$$

Mit Hilfe von A_2 kann man nunmehr aus 9^b) den Teilstrom I_{22} in der Schirmantenne angeben. Man erhält

$$I_{22} = 1,31 \,.\, 10^{-18} \,.\, \pi \,.\, 4500^2 = 0,83 \,.\, 10^{-10} \text{ Ampere.}$$

Das heißt: der von den niedergeschlagenen radioaktiven Substanzen unter dem Einfluß des Erdfeldes aufrechterhaltene Kollektorteilstrom beträgt weniger als 1 % vom Ausgleichstrom. Es hat also den Anschein, daß man in der Praxis das Glied I_{22} als klein gegen I_1, vernachlässigen kann.

Den Betrag des ersten Kollektorgliedes I_{21} kann man ohne besondere Versuche nicht angeben.

Registrierung des Antennenstromes.

Zur Ermittelung dieses Gliedes sowie zur Untersuchung der den Antennenstrom allgemein angehenden Fragen wurden zahlreiche Beobachtungen angestellt. Eine Beschreibung der Registrierschuppen und der photographischen Registriereinrichtungen ist schon gelegentlich der Beschreibung der Anlage auf Seite 16 ff gegeben worden. Mit diesen Anordnungen wurden insgesamt 118 über je ca. 24 Stunden gehende Registrierblätter erhalten, von denen allerdings 29 Stück wegen offensichtlicher Störungen an der Isolation, Justierung oder Lichtquelle gänzlich unberücksichtigt bleiben mußten. Bei der Registrierung wurde so verfahren, daß, wenn es anging, auf ein Blatt tunlichst zwei Meßinstrumente, in Schuppen 4 zwei Galvanometer, in Schuppen 7 ein Galvanometer und ein Elektrometer, die verschiedene Größen ergeben sollten, gleichzeitig arbeiteten. An dieser Stelle sind aber nur die Ergebnisse der Messungen mitgeteilt, die sich speziell auf die Antennenströme mit Gleichstromcharakter und ihren Zusammenhang mit dem Potentialgefälle beziehen.

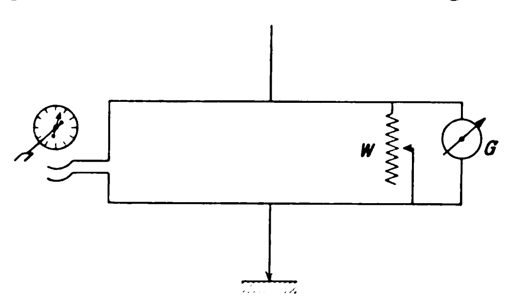


Abb. 47. Antennenstromregistrierung.

Die Schaltungen für die Antennenstrommessungen sind in Abb. 47 angegeben. Das eine der in Hütte 4 untergebrachten auf Seite 16 genannten Edelmannschen

Drehspulengalvanometer liegt direkt oder mit einem Nebenschluß in der Erdleitung der Schirmantenne. Bei einem großen Teil der so angestellten Versuche lag parallel zum Galvanometer eine Kontaktuhr, die allstündlich einmal 2 Minuten lang die Galvanometerzuleitungen kurz schließen und so die Basiswerte für die Galvanometerausschläge erkennbar machen konnte. Einer Bewegung des Lichtzeigers von 1 mm auf dem 180 cm entfernten Registrierblatt entsprach ein Strom von $5{,}4 \times 10^{-9}$ Ampere. Es empfahl sich aber, um die Ausschläge möglichst vollständig auf den Blättern zu erhalten, das Galvanometer mit 500 Ohm zu wehren. In diesem letzteren

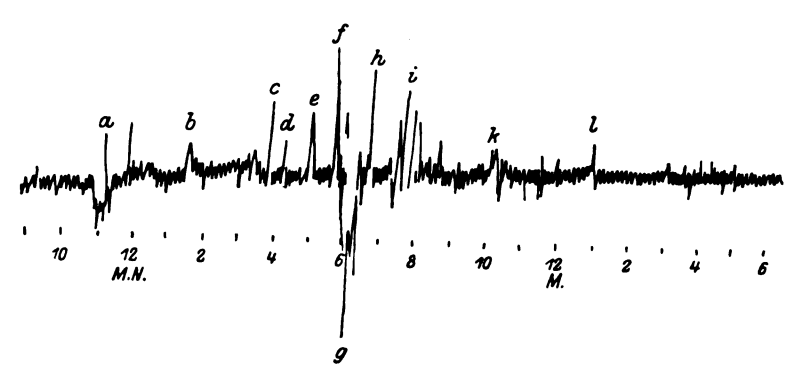


Abb. 48. Antennenstrom.

Falle entsprachen $7{,}42 \times 10^{-9}$ Ampere 1 mm Ausschlag. Der Widerstand des Galvanometers betrug ca. 300 Ohm.

Mit dieser Anordnung wurden 30 brauchbare Tageskurven aufgenommen, um eine Vorstellung des Kurvencharakters zu geben, zeigt Abb. 48 die Pause einer typischen Stromkurve. Der Verlauf ist im allgemeinen ziemlich veränderlich, es wechseln momentane Ablenkungen und Unruhen mit dauernden Ausschlägen.

Sind offensichtlich keine Störungen vorhanden, so beträgt der dauernde leidlich konstante Ausschlag im Mittel etwa 2 mm, selten überschreitet er 3 mm. Diese Ausschläge würden Strömen von ca. $1{,}5 \times 10^{-8}$ und $2{,}2 \times 10^{-8}$ Ampere aus der Atmosphäre gegen Erde entsprechen. Ein derartiger Wert würde sich verhältnismäßig sehr gut mit dem auf Seite 66 aus dem normalen vertikalen Leitungsstrom geschätzten Betrag für I_1 von $1{,}27 \times 10^{-8}$ Ampere vertragen.

Abhängigkeit des Kollektorstromes vom Potentialgefälle.

Zur Klärung des Zusammenhanges zwischen Stromschwankungen und Potentialgefälle wurden gleichzeitig in Hütte 7 Registrierungen des Potentialgefälles vorgenommen. Die Meßanordnung, bei der die auf einer 11 m hohen Stange angebrachte Poloniumsonde als Kollektor diente, ist bereits auf Seite 21 beschrieben und in Abbildung 21 ausführlich dargestellt. Wie schon erwähnt, machte dieser Teil des Aufbaues besondere Schwierigkeiten; die Zahl der brauchbaren Potential-Registrierblätter ist nur halb so groß, als die Stromregistrierungen. Um wieder ein charakteristisches Beispiel zu geben, ist in Abbildung 49 oben die Pause einer Potentialkurve dargestellt. Das Elektrometer war nicht direkt auf Hochspannung geeicht. Es

wurden nur gelegentlich auf dem freien Teil der Wiese Pontentialmessungen vorgenommen und so die Ausschläge des Quadrantenelektrometers auf die Ebene reduziert.

Ein Vergleich der täglichen Kurvenblätter von Antennenstrom und Potentialgefälle zeigt, obwohl beide Messungen in 360 m Abstand vorgenommen wurden, sehr deutliche Zusammenhänge. Positiven Werten des Potentialgefälles entsprechen positive Stromwerte, bei Umkehr des Gefällevorzeichens kehrt im allgemeinen auch der Strom seine Richtung um. Ebenso sind Störungen, besonders lebhafte Ausschläge

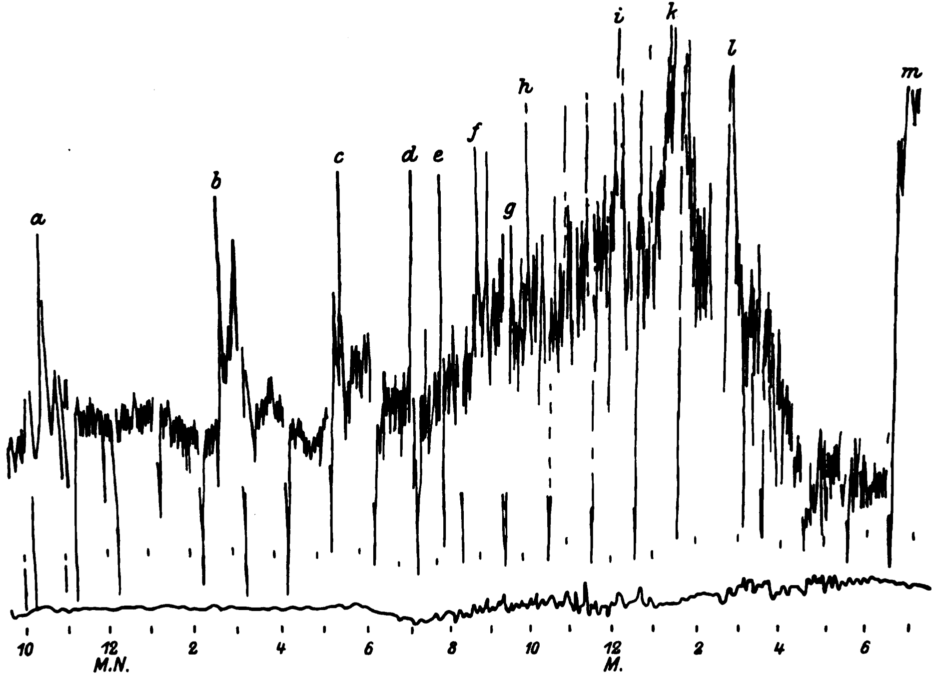


Abb. 49. Potentialgefälle.

meist auf beiden Blättern gleichzeitig angegeben. Es scheint aber, als ob die Stromkurve im allgemeinen mehr Störungen aufweist, als die Pontentialkurve; indessen sind, wenn auch seltener, Störungen der Potentialkurve auf der Stromkurve nicht oder nicht entsprechend deutlich erkennbar. Zwingende Gesetzmäßigkeiten zwischen den Ausschlägen hier und dort haben sich nicht auffinden lassen. Derselbe Schwankungsbetrag des Potentials kann einmal mit einer größeren, das andere Mal mit einer kleineren Schwankung des Stromes parallel gehen. Auf kurzdauernde Spannungsschwankungen reagiert der Antennengalvanometer oft übertrieben.

Bei einer Antennenkapazität von ca. 1000 cm und einer Änderung in der Ladungsverteilung sind ballistische Wirkungen anzunehmen. Langsame, selbst sehr erhebliche Änderungen des Gefälles bleiben dagegen auf der Stromkurve in mehreren Fällen kaum erkennbar. Wenn im folgenden trotzdem aus den Beobachtungen ein Mittelwert für das erste vom Potentialgefälle abhängige Kollektorglied I_{21} der Formel 8) berechnet und ein Zahlenwert für A_1 und a dieser 13-drähtigen, sorgfältig hergestellten Schirmantenne gegeben wird, so geschieht dies, um mit etwaigen an anderen Stellen gemachten Beobachtungen erstmalig einen rohen Vergleich zu ermöglichen.

Die hier beobachteten Daten gruppieren sich leidlich um einen Wert von $A_1 = 3{,}9 \times 10^{-11}$ und $a \sim 2{,}0$ Volt/cm. Bei einem Potentialgefälle von 220 Volt/Meter ergibt sich so beispielsweise ein Strom

$$I_{21} = 3{,}9 \, . \, 10^{-11} \, . \, 4500 \, . \, (2{,}2 - 2{,}0) \text{ Ampere}$$
$$= 17{,}6 \, . \, 0{,}2 \, . \, 10^{-8} = 3{,}5 \, . \, 10^{-8} \text{ Ampere.}$$

Bei 400 Volt ein solcher von

$$I_{21} = 3{,}52 \, . \, 10^{-7} \text{ Ampere.}$$

Stromwerte von diesem und höherem Betrage wurden häufig beobachtet.

Mit gewisser Näherung kann also für die Gräfelfinger Antenne unter Vernachlässigung der wenig wirksamen Glieder I_{22} und I_3 die Antennenstromstärke nach der Formel

$$I = \pi l^2 i + A_{11} . l \left(\frac{dV}{dh} - a \right) \text{Ampere}$$

aus dem Wert für das Potentialgefälle $\frac{dV}{dh}$ geschätzt werden, wobei i im wesentlichen nicht sehr verschieden von $2{,}0 \times 10^{-16}$, $A_1 = 3{,}9 \times 10^{-11}$, $a = 2{,}0$ anzunehmen ist; l beträgt, wie mehrfach erwähnt, ca. 4500 cm[1]).

Täglicher Gang des Antennengleichstromes.

Das Beobachtungsmaterial des Antennenstromes wurde des ferneren nach einer Abhängigkeit der Störungen von der Tageszeit untersucht.

Da es nicht notwendig erschien, kleinere Zeitintervalle als ganze Stunden zu betrachten, so wurde für jede Stunde die Abweichung vom ungestörten, nur durch den vertikalen Leitungsstrom gegebenen Wert, graphisch aufgetragen. Da der Störungscharakter, wie sich schon auf Seite 52 erwähnt findet, sich im allgemeinen als von zweifacher Art ergibt, indem entweder momentane Unruhen oder dauernde Ablenkungen eintraten, so wurden für diese typischen Stromverläufe zwei verschiedene graphische Symbole gewählt. Bei Dauerausschlag ist, je nachdem der beobachteten Stromrichtung positives oder negatives Vorzeichen zukommt (positiv: Strom fließt aus der Atmosphäre gegen Erde) ein schwarzes Rechteck über oder unter der Stunden linie aufgetragen. Bei bloßer Unruhe ist das entsprechende Rechteck klar belassen. Je nach der Maximalamplitude während des Ausschlages oder der Unruhe wurden drei positive und drei entsprechende negative Höhenstufen für diese Rechtecke gewählt.

Nach diesem Schema sind die Kurven umgezeichnet und in Abbildung 50 wiedergegeben.

Um den zeitlichen Gang der einzelnen Störungsformen zu erfahren, wurden die Störungen jeder einzelnen Tagesstunde zunächst für sich gemittelt und zwar

---

1) Es wurde versucht, frühere Webersche Beobachtungen an Fesselballons mit der Formel für Linearantennen nachzuprüfen (Weber, Elektrot. Zeitschr. 9, 189, 1888). Bei Ballonhöhen bis 100 m kommen die Größenordnungen unter der Annahme eines gleichen A_{11} überraschend gut heraus.



1. für positive Unruhe und Ausschlag,
2. für negative Unruhe und Ausschlag,
3. wurde aus 1 und 2 die Summe und endlich,
4. aus 1 und 2 die Differenz gebildet.

Die aus den 30 Registrierblättern so gemittelten Stundenwerte für 1, 2 und 4 sind in der graphischen Darstellung 51 eingetragen, die für 3 in Darstellung 52.

Diese letztere Darstellung, die, wenn man den Ausdruck wählen darf, die Abhängigkeit der „Gesamttätigkeit" des Antennenstromes von der Tagesstunde vorstellt, hat die reellste Bedeutung. Der charakteristische Verlauf dieser Kurve kommt übrigens bereits völlig zum Ausdruck, wenn man nur eine kleinere Zahl von Blättern, etwa Blatt 1 bis 10, 11 bis 20, 21 bis 30 für sich mittelt und aufträgt. Experimentell unbestimmt ist der Verlauf der Kurve in den Stunden von 4 h^p bis

Abb. 50. Schematisierte Tageskurven.

Abb. 51. Kurve 1 — — — — — — — — —
Kurve 2 — × — × — × — × —
Kurve 4 —.—.—.—.

Abb. 52. Kurve der Gesamttätigkeit.

9 h^p, da in dieser Zeit die Blätter gewechselt wurden. Bei der Mittelbildung konnte ohne Willkür auf die hier fehlende Beobachtungszeit keine Rücksicht genommen werden. Die Amplituden sind also für diese Zeit sicher etwas zu klein, am meisten gegen 7 h^p.

Die Kurve zeigt ein deutliches Morgenmaximum zwischen 6 h^a und 7 h^a und ein Nachmittagsmaximum um 2 h^p. Nachts zwischen 1 h^a und 2 h^a liegt ein tiefes Minimum, gegen Mittag tritt ein schwächeres in Erscheinung. Der Buckel um 3 h^a kann nicht zufälliger Art sein, er findet sich auf zahlreichen Blättern und tritt auch gelegentlich auf der Potentialkurve deutlich auf. Der ganze Gang der Kurve erinnert überaus stark an die Kurven, die den Gang des täglichen Potentialgefälles[1]) angeben. Die Vormittagsmaxima hier und dort decken sich zeitlich sehr gut. Das Nachmittagsmaximum dagegen tritt bei den Potentialkurven später erst, gegen 8 h^p auf. Gerade für diese Zeit ist aber der Verlauf der Stromkurve schlecht bestimmt. Die starken Ausschläge zwischen 1 h^p und 3 h^p hängen mit den in diesen Stunden häufigen Gewittern zusammen. Wenn man nur gewitterfreie Tage berücksichtigt, fällt das Mittagsminimum erheblich breiter aus und erstreckt sich mehr in die Nachmittagsstunden.

Man wird also in der Annahme kaum fehlgehen, daß der Gang der Gesamttätigkeit des Antennenstromes mit dem Gang des Potentialgefälles im wesentlichen direkt parallel geht.

Den Kurven 1, 2 und 4 (Abb. 51) dürfte nur geringere Reellität zukommen. Bei Kurve 4 speziell ist zu betonen, daß sie sich nach Seite 59 nur über die normale Antennenstromkurve überlagert und in dieser Form quantitative Schlüsse nicht zuläßt. Eine ausführliche Auswertung des Kurvenmaterials unter mehr luftelektrischen Gesichtspunkten wird voraussichtlich an anderer Stelle erfolgen.

Während der gesamten Beobachtungsdauer wurden Luftdruck, Temperatur und Feuchtigkeit gesondert registriert. Mit Ausnahme der Gewitterstörungen konnten jedoch klare Gesetzmäßigkeiten nicht gefunden werden.

Hochfrequenzstrom.

Außer diesen Antennströmen mit Gleichstromcharakter sind nach Seite 52 in den Antennen, hervorgerufen durch momentane Störüngen, Hochfrequenzströme vorauszusetzen. Für ihre Berechnung fehlen zunächst alle Anhaltspunkte. Es wurde deshalb versucht, einige Gesichtspunkte experimentell zu ermitteln.

Meßanordnung.

Zum Zwecke der Messung ist die Empfangsschaltung von Abb. 22 in sehr fester Koppelung benutzt nur mit dem Unterschied, daß in der Galvanometerzuleitung, vom Hochfrequenzstrom nicht durchflossen, ein zweites Thermoelement entgegengesetzt geschaltet liegt.

Durch Änderungen der Lufttemperatur können keine Galvanometerausschläge verursacht werden, da sich die Wirkungen der beiden Thermoelemente aufheben.

[1]) Mache u. Schweidler, Die atmosphärische Elektrizität. Braunschweig 1909, S. 30.



Ausschläge des Galvanometers müssen ausschließlich durch induzierte Ströme verursacht sein. Nach zahlreichen Vorversuchen (20 Blatt) die über den Grad der Temperaturkompensation den Verlauf der Nullpunktskurve auch ohne Antenne usw. Aufschluß gaben, wurden mehrere Aufnahmen (30 Blatt) nach der modifizierten Schaltung von Abbildung 22 aufgenommen.

Abhängigkeit des Hochfrequenzstromes vom Potentialgefälle.

Bei allen stärkeren Potentialschwankungen, vor allen bei Gewittern und auch fernen Gewittern, wies das Galvanometer deutlich Hochfrequenzströme nach. Bei starken atmosphärischen Entladungen breitet sich offenbar die Störung des Feldes allseitig nach Art einer Welle aus. Die einem bestimmten Blitzübergang entsprechende Störung muß deshalb — praktisch gleichzeitig — von verschiedenen benachbarten drahtlosen Stationen wahrgenommen werden. Es kann sich hierbei aber, wenn überhaupt um eine oscillatorische Entladung, dann nur um eine solche mit sehr starker Dämpfung handeln. Es wurden hier gleichzeitig mit wechselnd sehr verschieden abgestimmten Empfängern (180 m und 2300 m) dieselben Störungen auf beiden Nahstationen subjektiv empfangen, ohne daß die Abstimmung einen ersichtlichen Einfluß gehabt hätte. Bei der Registrierung entsprechen die Galvanometerausschläge der Größenordnung nach einer Gleichstromheizung des Thermoelementes mit 10^{-5} bis 10^{-6} Ampere. Bei einem Antennenwiderstand von ca. 5 Ohm entspricht das einem Energiebetrag von 5×10^{-10} bis 5×10^{-12} Watt. Die Koppelung zwischen Antenne und Schwingungskreis war ziemlich fest, sie betrug 12 bis 15 %. Es ist nach allem anzunehmen, daß diese Hochfrequenzströme den zeitlichen Änderungen der Teilstrombeträge I_{21} (Seite 54) proportional sind.

IV. Strahlungsabsorption durch Aktivierung der Oszillatoren.

Unterschied zwischen Oszillatoren im Freien und im Laboratorium.

Die Messungen des zweiten Abschnittes ergeben, daß ein im Erdfeld ausgespannter Antennenleiter gegen einen entsprechenden nur im Laboratorium benutzten, also elektrostatisch geschützten Leiter, gewisse Unterschiede aufweisen muß. Die Oberfläche des Leiters ist durch die niedergeschlagenen radioaktiven Induktionen verändert und der den Leiter umgebende benachbarte Luftzylinder besitzt eine elektrische Leitfähigkeit, welche die der normalen Luft übertrifft.

Die elektromagnetischen Wellen, die von einer Sendeantenne (Abb. 53) A ausstrahlen, müssen bei dieser Sachlage zunächst einen Luftweg von allerdings nur geringer Stärke durchsetzen, dessen Ionenbildungszahl wesentlich höher ist, als die des weiteren Zwischenmittels M. Ebenso weist die Empfangsantenne B eine stärker leitende Hülle auf, welche ebenfalls energieabsorbierend wirken kann. Den Betrag der wahrscheinlichen Energieabsorption rechnerisch zu ermitteln, erschien wenig aussichtsvoll, da die Theorie schon bei der Behandlung viel einfacherer Fälle, als sie hier durch das Hereinkommen der Hochfrequenzfelder gegeben sind, Schwierigkeiten bietet. Es wurde deshalb versucht, experimentell einige Anhaltspunkte über den Einfluß dieser radioaktiven Begleiterscheinungen zu gewinnen. Da es nicht ausgeschlossen erschien, daß die im Vorwort erwähnte Reichweitenänderung durch wechselnde Beträge der Leitfähigkeit dieser Luftzylinder mit verursacht sei, wurden Beobbachtungen angestellt, die einmal untersuchen sollten, ob zwischen Nahestation, also bei möglichster Ausschaltung des Zwischenmittels die Erscheinung der Reichweitenänderung überhaupt zu konstatieren sei und zweitens, ob die radioaktiven Niederschläge und ihre Wirkungen energieabsorbierend wirken können.

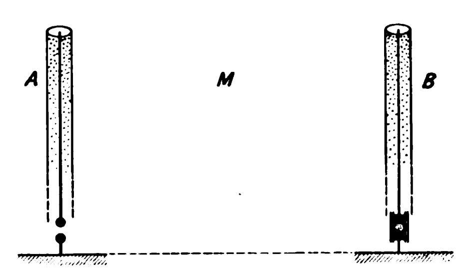


Abb. 53. Luftzylinder erhöhter Leitfähigkeit.

Untersuchung auf zeitliche Änderung der Reichweite.

Die experimentelle Untersuchung auf Reichweitenänderung gestaltet sich sehr einfach. In der Sendestation werden automatisch mit stets nahezu gleichbleibender oder willkürlich wechselnder Energie Wellen ausgestrahlt und die der Antennen-

stromstärke proportionalen Ausschläge werden photographisch registriert. In der mit Thermoelement ausgerüsteten ca. 360 m entfernten Empfangsstation rufen diese Wellenserien ihrerseits einen Galvanometerausschlag hervor, der gleichfalls photographisch registriert wird. Ein Vergleich der über längere Zeit beobachteten zusammengehörigen Galvanometerausschläge muß dann direkt einen etwaigen Gang in der Übertragungsgüte erkennen lassen.

Versuchsanordnung.

Die wesentlichen Teile dieser Meßanordnung sind bereits beschrieben. Als Sendeordnung dient der in Abbildung 5, 6 und 9 wiedergegebene Braunsche Kreis; in der Antennenleitung liegt der Koppelschieber I, II von Abbildung 13, der so eingestellt ist, daß die Galvanometerausschläge einen deutlich meßbaren Betrag ergeben. Als Antenne ist ein einfacher linearer Sender, bestehend aus einem 35 m langen Draht, benutzt worden.

Die Schaltung der Empfangsanordnung zeigt Abbildung 22.

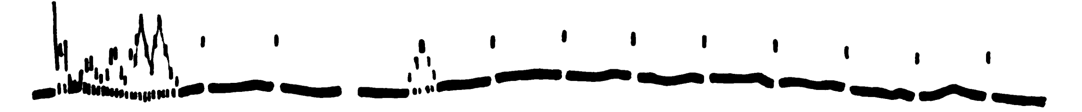


Abb. 54. Empfangene Wellen.

Diese Meßanordnungen arbeiten relativ zuverlässig und ohne Störungen. Als Beispiel der bequemen Art, mit der sich so objektive Aufzeichnungen gewinnen lassen, sind in Abb. 54 einige empfangene Stundenausschläge und Resonanzkurven, die durch Veränderung der Wellenlänge und Koppelung des Senders gewonnen wurden, mitgeteilt. Im allgemeinen betragen die Ausschläge 15 bis 20 mm und sind bis auf 0,3 mm sicher angebbar.

Ergebnisse.

Der Ausfall der Versuche ist durchaus derart, daß bei Nahestationen keine wesentliche Änderung im Verhältnis der ausgestrahlten zur empfangenen Energie bei Tag und Nacht eintritt. Bei konstanter Sendeenergie zeigen die Empfangsausschläge nach Abstimmung keine Schwankungen; das Beobachtungsmaterial bietet also sehr wenig Interessantes. In vereinzelten Fällen schien es, als ob nach Regen der Empfangsausschlag ein klein wenig größer, bei sehr anormalen luftelektrischen Potentialgefällen ein klein wenig kleiner werde. Diese Abweichungen sind aber höchstens gelegentlich gerade konstatierbar. Bei veränderter Primärenergie ändert sich der Strom im Empfänger im gleichen Sinne. Eine Änderung der Antennenstromstärke beim Senden in Abhängigkeit von anderen Faktoren speziell vom Sonnenlicht ließ sich bei diesen Versuchen nicht mit Sicherheit feststellen. Es ist aber möglich, daß der Hallwachseffekt, der sich in verminderter Isolationsfähigkeit der Antenne für die negative Phase des Stromes und damit in stärkerer Dämpfung resp. geringeren Antennenstromstärken äußern müßte,

erst bei stärkerer Spannuugsbeanspruchung deutlichere Wirkung ausübt. Hierüber dürften die späteren Messungen mit der kräftigeren Anordnung Material beibringen.

Jedenfalls ist es als sehr wahrscheinlich anzunehmen, daß die „Reichweitenänderung" nicht durch Erscheinungen in der Nachbarschaft der Antennen, sondern durch solche im Zwischenmittel zustande kommt.

Untersuchung auf Energieabsorption durch Aktivierung.

Die Anordnungen und Ergebnisse der Beobachtungen, die erweisen sollten, ob überhaupt eine Energieabsorption durch Anreicherung radioaktiver Substanzen auf den Antennen eintreten könne, sind nachfolgend aufgeführt.

1. Im Erdfeld aktivierte Antennen.

Als am naheliegendsten erschien es, direkt die Wirksamkeit „alter" schon mehrere Stunden verspannter Antennen, auf denen die radioaktiven Induktionen sich hatten anreichern können, zu vergleichen mit schnell ausgewechselten sonst identischen Antennen, welche eine noch inaktive Oberfläche besaßen.

Dieser Weg wurde eingeschlagen und sowohl die Sendestation, die wie bisher mit dem Braunschen Erreger arbeitete, als die Empfangsstation, die ein Thermoelement und Galvanometer entsprechend dem Schaltschema (Abb. 22) enthielt, wurden mit je zwei gleich langen und gleich starken Antennendrähten ausgerüstet. (Sendeantennen: Drahtlänge 35,0 m Kupferlitze von 3,0 mm Durchmesser; Empfangsantennen gleich stark und 34,0 m lang.)

Die eine dieser Linearantennen wurde aufgezogen und erst nach längerer Zeit, nicht vor 6 Stunden, der Maximalausschlag des Galvanometers G gemessen, während die Sendestation gab. Dann wurden möglichst schnell die Antennendrähte ausgewechselt. Bis zum völligen Anschluß der frischen Drähte vergingen etwa 11 bis 13 Minuten. Nach dieser Zeit gab die Sendestation wieder mit gleicher Primärenergie und der Galvanometerausschlag in der Empfangsstation wurde abermals abgelesen.

Ein merkbarer Unterschied ließ sich in keinem Falle konstatieren. Wenn eine Differenz zwischen den — bei der Beobachtung hinreichend konstanten — Ausschlägen vorhanden war, so lag deren Betrag jedenfalls unter 3 %. In Hinsicht auf das von K. E. F. Schmidt[1]) mitgeteilte Ergebnis der Verschiebung des Resonanzpunktes in mutmaßlichem Zusammenhange mit variabler Ionisation möchte ich betonen, daß die mit ausgewechselten Antennen aufgenommenen Resonanzkurven durchaus an der gleichen Stelle des Drehkondensators das Ausschlagsmaximum zeigten.

Der negative Ausfall dieser Versuche besagte also, daß die drahtlos telegraphische Praxis aus Gründen einer Energieabsorption auf diese radioaktiven Anreicherungen wahrscheinlich keine Rücksicht zu nehmen braucht. Immerhin erschien es in diesem Zusammenhang wissenswert, ob der — wenn auch nur schwach zu erwartende — Effekt sich nicht in irgendeiner Form doch wenigstens werde nachweisen lassen.

[1] K. E. F. Schmidt, Physikal. Zeitschr. 8, 133, 1907.

2. Im Erdfeld aktivierte kleine Oszillatoren.

Um von den großen unhandlichen Versuchsanordnungen und dem Einfluß der Erdung frei zu werden, wurde ein kleiner Laboratoriumsaufbau hergestellt, der im wesentlichen aus einem direkt mit einem Induktorium betriebenen Hertzschen Oszillator und einem mit Thermoelement und Galvanometer verbundenen Resonator bestand. Als Leitungsmaterial für den Oszillator und Resonator dienten Kupferdrähte von 2,0 mm Durchmesser, die entweder inaktiv oder nach Exposition an der Aktivierungsrahe des Stationsmastes aktiviert verwendet wurden.

Die Längen der Drähte betrugen bis zu 1 m, an ihren Enden waren sie zu Ösen gebogen, so daß sie leicht an den isolierenden Stiften verspannt werden oder mit Drahtzwischengliedern an den Mast aufgeheißt werden konnten.

Die Aktivität dieser kurzen Drähte war verhältnismäßig größer als die im Mittel genommene Aktivität der in Abschnitt II untersuchten langen Antennen, da ja namentlich an der Spitze des Mastes, bis zu der diese kurzen Enden aufgeholt wurden, das Potentialgefälle hohe Werte besitzt.

Zahlreiche, auch bei verschiedenen Expositionszeiten usw. angestellte Versuche ergaben aber auch mit dieser Anordnung keinen Unterschied im Ausschlag. Es erwies sich als gleichgültig, ob Oszillator und Resonator aktiv oder inaktiv waren.

3. Künstlich polonisierte kleine Oszillatoren.

Da die natürliche Aktivierung möglicherweise doch zu schwach war, einen merkbaren Effekt zu ergeben, wurde ein letzter Versuch angestellt, mit künstlich aktivierten Leitern. Diese Versuche führten zu einem positiven Ergebnis. Da die Versuchsbedingungen in hohem Grade von den in der drahtlos telegraphischen Praxis vorliegenden Verhältnissen abweichen, soll an dieser Stelle von ihrer Beschreibung abgesehen werden. Es zeigte sich, daß zwischen Drähten, die so stark mit Polonium aktiviert waren, daß ca. 500 α-Teilchen pro Sekunde und cm^2 Oberfläche ausgeschleudert wurden, die übertragene Energie um ca. 7 % geringer war als zwischen unaktiven Drähten. Es dürfte jedoch auch unter anormalen Bedingungen ausgeschlossen sein, daß in der Natur an verspannten Leitern ähnliche Aktivitäten auftreten.



V. Schutzvorrichtung.

Mechanismus der Empfangsstörung.

Für die Empfangsstörung kann man sich unter Zugrundelegung des bisher mitgeteilten Materials ein hinreichendes Bild machen. Die Antennen sind elektrisch schwingungsfähige Systeme. Alle durch atmosphärisch-elektrische Vorgänge bedingten Gleichgewichtsstörungen werden sich oszillatorisch ausgleichen müssen. Es kommen so in den mit der Antenne gekoppelten Empfangsorganen, die im allgemeinen lediglich ein Reagenz für schnelle Schwingungen vorstellen, Wirkungen zustande, die denen ähnlich sind, welche bei regulärem Empfang auftreten. Zum Auftreten dieser Störungen wird es gleichgültig sein, ob lediglich äußere Potentialschwankungen Ladungsverteilungen hervorrufen; es sich also primär um Influenzerscheinungen handelt, oder ob direkt elektrische Ladungen zwischen Atmosphäre und Antenne unter dem Einfluß des Feldes ausgetauscht werden. Es ist vielleicht nicht überflüssig, an dieser Stelle ein einfacheres Bild anzuführen, daß die Erscheinungen ziemlich gut deckt.

Wenn luftelektrische Potentialschwankungen auftreten und sich, wie dies üblich ist, in wechselnder Intensität wiederholen, so werden die ursprünglich sich glatt und unbeweglich ausbreitenden Äquipotentialflächen sich heben und senken müssen; es werden gewissermaßen Wellen mit Bergen und Tälern auf ihnen dahineilen, deren wechselnde Höhe die Potentialmeßanordnung wie ein Pegel anzeigt. In diesem elektrisch wogenden Meer steht die Antenne als elektrisch schwingungsfähiges Gebilde. Das, was man in dem Telephonhörer der Empfangsanordnung hört, wird also zu einem gewissen Teil die Brandung dieser luftelektrischen Wogen an der elektrisch erschütterbaren Antenne sein. Zu diesen Erschütterungen kommt ähnlich einem auf ein Blechdach prasselnden Regen, das Rauschen und Anschlagen der auf die Antenne zustürzenden Ionen.

Wenn man bedenkt, daß einmal die Empfangsorgane einer Station, die ja auf die Störungen der ca. über Tausende von Kilometern ankommenden elektromagnetischen Wellen reagieren sollen, außerordentlich empfindlich sind und weiter die elektrische Schwingungszahl einer Antenne — entsprechend der größeren „Tropfenzahl" — sehr groß ist, so erscheint diese Analogie kaum besonders gewagt.

Wesentlich ist jedenfalls, daß, gleichgültig ob man der Influenz oder der Strömungsschwankung größeres Gewicht beilegen will, in jedem Falle das atmosphärische Potentialgefälle zum Zustandekommen der Empfangsstörung die primäre Ursache vorstellt.

Möglichkeit und Prinzip einer Schutzvorrichtung.

Auf Grund dieser Gesichtspunkte erschien es nicht aussichtslos, an den drahtlos-telegraphischen Antennen eine Schutzvorrichtung gegen die Empfangsstörung anzubringen. Ein solches Schutzsystem muß die Aufgabe erfüllen, die ganze Antenne oder ihre einzelnen Leiter den Wirkungen des atmosphärischen Potentialgefälles zu entziehen, doch so, daß nicht gleichzeitig die Wirkung der ankommenden drahtlos-telegraphischen Wellen beeinträchtigt wird. Es kann also nicht angehen, den Luftleiter, beispielsweise eine Linearantenne, einfach nach Art eines Faradayschen Käfigs zu umgeben (Abb. 55). Ein derartiger Schutz würde zwar bestimmt die Wirkungen des elektrostatischen Erdfeldes abhalten, so daß man die Erscheinung der Empfangsstörung nicht an ihr wahrnehmen könnte, aber er würde auch verhindern, daß die elektromagnetischen Wellen einer Gegenstation ungeschwächt zur Antenne gelangen können. Ein Schutzsystem, das den eingangs gestellten Forderungen entsprechen soll, muß vielmehr nach einem doppelten Gesichtspunkt konstruiert sein.

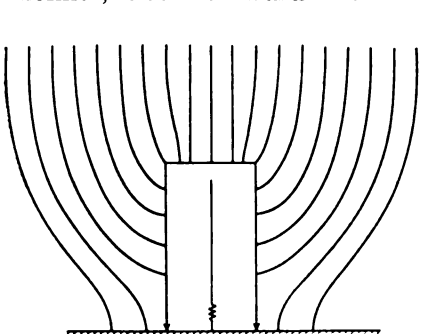
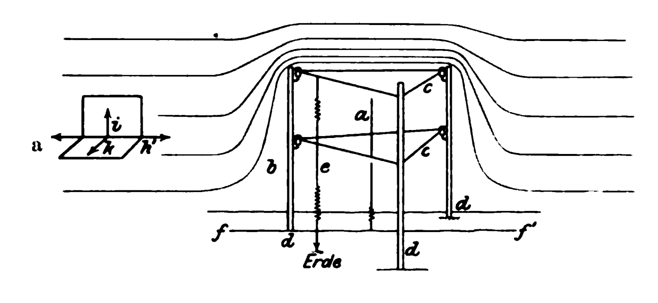


Abb. 55. Kraftlinienverlauf über Käfig.



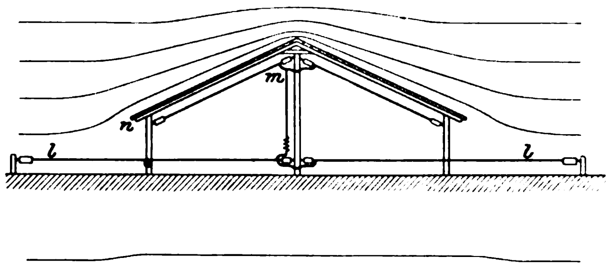


Abb. 56. Schutzsysteme.

Es ist erforderlich, daß um die Antenne ein Leitersystem vorhanden ist, das die äußere Form des vor den Wirkungen des Erdfeldes abzuschirmenden Raumes begrenzt. Dies System möge als „Formsystem“ bezeichnet werden. Die Leiter dieses Systems dürfen aber nicht willkürlich orientiert sein, sondern sie sind so zu verlegen, daß sie in Richtung des elektrischen Vektors der ankommenden oder der die Antenne verlassenden Wellen möglichst keine Erstreckungskomponente besitzen.

Alle Leiter dieses Formsystems sind dann durch eine „Ausgleichleitung“, die zweckmäßig durch Ohmsche oder Selbstinduktionswiderstände schwingungsfähig gemacht ist, unter sich zu verbinden und an Erde zu legen.

Schema eines Antennenschutzes an einer Linearantenne.

Abbildung 56 zeigt schematisch das Schutzsystem für eine lineare Antenne **a**. Die parallelen Drähte c c stellen das Formsystem vor, auf ihnen enden im wesentlichen alle Kraftlinien des erdelektrischen Feldes, so daß der Innenraum frei von den Wirkungen des Erdfeldes bleibt. Alle Leiter dieses Formsystems sind unter sich verbunden und geerdet durch die schwingungsunfähige Ausgleichsleitung c. Treffen oder verlassen nun elektromagnetische Wellen mit horizontaler Fortpflanzungsrichtung h h′, deren elektrische Feldintensität i in einer vertikalen Ebene und deren magnetische Feldintensität h in einer horizontalen Ebene liegt, die Antenne, so wird die Energie der Strahlung durch die Schutzvorrichtung nicht wesentlich absorbiert oder reflektiert.

Die ganze Anordnung stellt somit eine Kombination zwischen Faradayschen Käfig und Hertzschen Polarisationsgitter dar, das auf Durchlässigkeit orientiert ist. Daß die eine Ausgleichsleitung c in Richtung der elektrischen Feldintensität verläuft, kann zu bemerkenswerten Absorptionen oder Dissymmetrien nicht führen; man kann sie zudem abschnittweise noch in verschiedenen Azimuten in bezug auf a anordnen.

Schema eines Antennenschutzes an einer Schirmantenne.

Weniger, um eine für die Praxis wichtige Form des Antennenschutzes zu zeigen, als vielmehr, um das Wesentliche des Schutzprinzips nochmals in anderer Form vorzuführen, ist in Abbildung 56 b eine Schirmantenne mit Gegengewicht dargestellt, die sich in einer hölzernen Halle eingebaut befindet. Das Holz n nimmt als Halbleiter Erdpotential an und deformiert die luftelektrischen Potentialflächen. Das Drahtgebilde m und l ist also, wie man es für ein im Innern einer Baulichkeit eingeschlossenes System erwarten darf, vor den Wirkungen des elektrostatischen Erdfeldes geschützt. Die dünnen Bretter mit ihrer relativ geringen Leitfähigkeit werden namentlich, wenn sie horizontal verbaut sind, die ein- und austretenden Wellen nur im geringen Grade absorbieren. Bei diesem Schutz stellen also die Bretter gleichzeitig Form und Ausgleichsystem vor.

Schema eines Antennenschutzes an einer gerichteten Antenne.

Von größerem Interesse für die Praxis dürfte die Abbildung 56 c dargestellte geschützte gerichtete Antenne sein. Es kann unmaßgeblich geraten werden, in den Kolonien, namentlich in dem wegen seiner lästigen Empfangsstörungen berüchtigten Kamerun, dieses sehr einfach anzubringende Schutzsystem versuchsweise zu realisieren. Die Leiter des Formsystems P verlaufen so über der Antenne O, daß sie in Richtung des elektrischen Vektors keine Erstreckungskomponente haben. Die Elemente q des Ausgleichsystems sind schwingungsunfähig gemacht und können gleichzeitig zur Befestigung von P dienen.



Beschreibung eines ausgeführten Schutzes.

Um das im bisherigen beschriebene Verfahren zu erproben, wurde eine an Mast 9 verspannte Linearantenne mit einem aus Formsystem und Ausgleichsleitung bestehenden Schutzsystem umgeben. Die Anordnung war folgendermaßen hergestellt: An den Ecken eines mit Drähten versteiften, aus Bambusstangen bestehenden, quadratischen Rahmens von ca. 1,5 m Seitenlänge wurden vier Bindfaden von je ca. 28 m Länge befestigt, die von 0,5 m zu 0,5 m kleine Drahtösen trugen. Der Bambusrahmen ließ sich so, daß er horizontal schwebte, an dem ca. 28 m hohen Mast emporziehen (vgl. Abb. 23). Die Enden der vier Bindfäden waren so auf dem Dache des Registrierschuppens 87 befestigt, daß die Fäden einen parallelepipedischen Raum begrenzten, der allerdings, da der Schuppen einige Meter seitlich vom Mast entfernt steht, einen schwachen Durchgang besaß. In die Ösen an den Bindfäden wurden Kupferdrähte von je 6 m Länge und 1,0 mm Durchmesser eingezogen, so daß im Ganzen 55 unabhängige horizontale Quadrate aus Kupferdraht entstanden. Ein dünner Draht von 0,4 mm Durchmesser war an einem der Bindfaden als Ausgleichsleitung entlang geführt und mit allen einzelnen Quadraten, den Leitern des Fernsystems, verbunden worden. Innerhalb dieses so geschaffenen Schutzsystemes wurde die aus einer 3 mm Kupferlitze gebildete Antenne verspannt. Oben diente zu ihrer Befestigung ein im Mittelpunkt des Bambusrahmens angebrachtes und von einem großen Glastrichter geschütztes Hartgummistück. Unten war sie an die gleichfalls im diagonalen Schnittpunkt des Basisquadrates befindliche Deckendurchführung der Hütte 7 angeschlossen.

Meßanordnung.

Damit das Verhalten dieser so geschützten Antenne richtig eingeschätzt werden konnte, wurde von einem zweiten Arm des Holzkreuzes ein gleichlanger aus derselben Kupferlitze bestehender Antennenleiter als „Vergleichsantenne" zur Hütte geführt. Vor und nach jedem Versuch mit der „geschützten" Antenne konnte die Vergleichsantenne an den registrierenden Empfänger gelegt und so kontrolliert werden, ob die Verhältnisse im wesentlichen konstant geblieben waren. Die Ausgleichsleitung des Antenneschutzes ließ sich entweder direkt oder durch eine Drosselspule von 100 Henry Selbstinduktion und 10 Ohm Widerstand erden. Im Empfänger war wie bisher die durch variable Selbstinduktion abstimmbare Antenne induktiv lose mit dem geschlossenen Schwingungskreis gekoppelt, der einen Drehplattenkondensator und ein Brandessches Thermoelement mit angeschlossenem Galvanometer enthielt. An Stelle dieses Registrierempfängers wurde mehrfach auch der Hörempfänger mit Thermozelle aus Hütte 4 angelegt.

Ergebnisse.

Wenn der Hörempfänger angeschlossen war, so zeigten sich für den Fall, daß das Schutzsystem durch die Drosselspule an Erde lag, keine Geräusche im Telephonhörer, während die Vergleichsantenne das normale, wenngleich hier selbstredend



auch nicht sehr laute Rauschen vernehmen ließ. War die Ausgleichsleitung direkt geerdet, so wurde im Telephonhörer eine schwache Empfangsstörung wahrgenommen. Es ist also erforderlich, das Schutzsystem schwingungsunfähig zu erhalten.

Bei dem Empfang drahtlostelegraphischer Wellen zeigte sich, daß, wenn jedesmal auf maximalen Ausschlag eingestellt wurde, der Ausschlag am größten war bei direkt geerdeter Ausgleichsleitung. Er zeigte dann im Mittel etwa 2,6 mal so große Werte als bei Benutzung der Vergleichsantenne. Wurde die Ausgleichsleitung durch die Drosselspule an Erde gelegt, so ergab sich der Galvanometerausschlag im Mittel als das 1,2 fache des Ausschlages, den man im Optimum mit der Vergleichsleitung erhielt.

In jedem Falle zeigte sich, daß ein derartiges mit schwingungsunfähiger Ausgleichsleitung versehenes Schutzsystem bis zu einem gewissen Grade als Faradayscher Käfig wirkt und doch die Wellen zur Antenne treten läßt. Die Güte der geschützen Antenne für den Empfang schien wegen der Kapazitätserhöhung sogar eher gehoben zu sein. Der Schutz wird praktisch vollständig sein für alle die zahlreichen „Strömungsstörungen“. Nur sich ausbreitende Potentialschwankungen, also etwa von fernen Blitzentladungen ausgehende Störungen mit vertikaler elektrischer Komponente können sich noch bis zu einem gewissen Grade äußern.

Schluß.

Das positive Ergebnis von Abschnitt V gab Veranlassung zu weiteren detaillierteren Fragestellungen. Da an sich in Aussicht genommen ist, den Registrierschuppen 7 auch während der Fernversuche in Betrieb zu belassen, so bietet sich Gelegenheit, die bisher vorliegenden Messungen relativ mühelos zu erweitern.

Darüber, ob ein nach diesem Prinzip ausgebildetes Schutzsystem auch unter anderen klimatischen Verhältnissen, speziell in den Tropen brauchbare Dienste leistet, werden sich hoffentlich bald Erfahrungen sammeln lassen. Die Ursache des teilweisen Versagens der bisherigen Schutzeinrichtungen erscheint jedenfalls geklärt. Bei Marconi bleibt die Antenne trotz der Erdung im Spannungsknoten schwingungsfähig, bei Greenleaf Whistler Pickard verursachen die zu den Antennenleitern parallelen Schutzdrähte eine Energieabsorption.

Die Erörterung und Beobachtung der luftelektrischen Erscheinungen, die in der unmittelbaren Nachbarschaft einer Antenne eine Rolle spielen, hat auf alle Fälle erwiesen, daß die Ursache der Reichweitenänderung im Zwischenmittel zu suchen ist. Ihrer Erörterung wird die folgende Abhandlung gewidmet sein. Wo die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung unbestimmt und qualitativ geblieben sind, wurde es stets betont. Vielleicht, daß die eine oder andere der Lücken von anderer Seite ausgefüllt werden kann.

Bei der Durchführung der Arbeit habe ich Hilfe von vielen Seiten gefunden.

Vor allem muß ich dem Verein deutscher Ingenieure, der diese drahtlostelegraphische Untersuchung durch Gewährung eines namhaften Betrages ermöglichte und auch dem zweiten Teil der Untersuchung seine Unterstützung gewährte, von Herzen danken.

Der K. B. Akademie der Wissenschaften verdanke ich mehrere luftelektrische Anordnungen, die zum Teil auch in dieser Arbeit verwendet wurden. Die Isarwerke G. m. b. H. gewährten kostenlos Strom und stellten mehrere Apparate zur Verfügung.

Das gütige Entgegenkommen Professor Eberts ermöglichte die Verwendung zahlreicher Instrumente der Sammlung des Physikalischen Instiuts der K. Techn. Hochschule München. Mehrere Teile der Anordnung durften in der Institutswerkstatt hergestellt werden.

Einer Stiftung des Berliner Vereins für Luftschiffahrt habe ich die Aufnahme der Untersuchung in die Sammlung „Luftfahrt und Wissenschaft" zu verdanken.

Bei der Aufstellung der Anordnung und bei den ersten Beobachtungen unterstütze mich gelegentlich in liebenswürdiger und sachkundiger Weise Herr Ingenieur P. P. Tafel, des ferneren die Herren cand. Baumann, Kernstock, Reimers und Eppen, und ich kann diesen ersten Teil der Untersuchung nicht beschließen, ohne auch der freudigsten, aufopfernden Hilfe meiner lieben Frau dankbar zu gedenken.

Zusammenfassung.

Nach einer Beschreibung der bei der drahtlosen Telegraphie auftretenden Erscheinungen der Empfangsstörung und der Reichweitenänderung wird ein Programm dargelegt, diese Störungsvorgänge unter den Gesichtspunkten der luftelektrischen Forschung zu untersuchen. Um den Einfluß des Zwischenmittels festzustellen, sind Nahversuche und Fernversuche vorgesehen.

Der vorliegende Teil der Untersuchung enthält die Ergebnisse der Nahversuche und erörtert die luftelektrischen Vorgänge in der Nachbarschaft einer Antenne. Es werden die in Frage kommenden luftelektrischen Begriffe kurz eingeführt und der Versuchsaufbau beschrieben.

Der erste Abschnitt der Versuche beschäftigt sich mit den Verhältnissen des elektrostatischen Erdfeldes in der Nähe der Antennen. Es werden für zahlreiche Antennenformen die Diagramme bestimmt und gezeichnet sowie Tabellen gegeben, um für vorhandene Antennen näherungsweise die Feldverteilung zu ermitteln.

Der zweite Abschnitt (Arbeit des Herrn Kernstock) untersucht die Verhältnisse, die dadurch entstehen, daß sich radioaktive Substanzen auf den Antennenleitern niederschlagen. Es zeigt sich, daß in einem Luftzylinder von ca. 10 cm Durchmesser um die Antennenleiter durch den Zerfall von Ra A und Th A eine Erhöhung der Ionenbildungszahl auf etwa das Hundertfache gegenüber der freien Atmosphäre eintritt. Auf einer mit Hochfrequenz beschickten Antenne scheinen sich die radioaktiven Induktionen nur in geringerem Grade abzulagern.

Im dritten Abschnitt wird versucht, einen Näherungsausdruck für den Stromstärkebetrag aufzustellen, den man im Erdungsquerschnitt einer Antenne bei gegebenen Verhältnissen erwarten kann. Unter Bezugnahme hierauf wird der Strom in einer 42 m hohen Schirmantenne registriert. Die Stromwerte entsprechen diesem Ausdruck; sie schwanken im allgemeinen zwischen $\pm$ $1{,}0 \cdot 10^{-7}$ und $5{,}0 \cdot 10^{-7}$ Ampere, erreichen aber auch höhere Beträge. Wie gleichzeitige Potentialmessungen ergeben, herrscht zwischen Potentialgefälle und Ausgleichstrom nahezu Parallelismus. Die Schwankungen des Ausgleichsstromes haben wie das Potentialgefälle eine tägliche Periode mit einem doppelten Maximum früh und nachmittags. Bei raschen Änderungen des Ausgleichsstromes oder Potentialgefälles treten in der Antenne Hochfrequenzströme auf, die im wesentlichen die Empfangsstöung ausmachen.

In Abschnitt IV wird untersucht, inwieweit die Aktivierung der Antennendrähte energieabsorbierend wirkt. Bei im Erdfeld aktivierten Leitern fallen die Versuche negativ aus. Bei künstlich kräftigst mit Radium F aktivierten Drähten tritt eine Energieabsorption auf von etwa 7 %. Eine Erklärung der Reichweitenänderung auf Grund von Vorgängen in der Nachbarschaft der Antennen erscheint ausgeschlossen. Bei Nahversuchen ist eine tägliche Periode in der Übertragungsgüte nicht wahrzunehmen.

Auf Grund der Tatsache, daß die Empfangsstörung direkt oder indirekt durch das Potentialgefälle bedingt ist, wird im Abschnitt V ein Antennenschutz gegen die Empfangsstörung angegeben und erprobt, dessen Wesen in einer Kombination eines Faradayschen Käfigs mit einem Hertzschen Polarisationsgitter besteht.

Luftfahrt und Wissenschaft

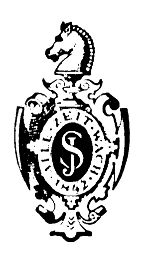
In freier Folge herausgegeben
von
Joseph Sticker

Heft 3

Zur Physiologie und Hygiene der Luftfahrt

Von

N. Zuntz



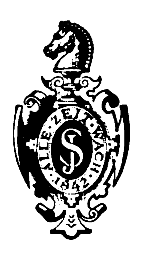
Berlin
Verlag von Julius Springer
1912

Zur Physiologie und Hygiene der Luftfahrt

Von

Dr. med. N. Zuntz
Professor der Physiologie an der Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin

Mit 11 Textfiguren



Berlin
Verlag von Julius Springer
1912

Stiftung des
Magdeburger Vereins für Luftschiffahrt, Magdeburg.

Inhaltsverzeichnis.

Wie die ältesten Versuche des Menschen, sich in die Luft zu erheben, den Flug des Vogels zum Muster nahmen, so liegt es auch nahe, zur Ergründung der Einwirkungen des Aufenthalts in der freien Atmosphäre auf unseren Organismus und zur bewußten Anpassung unseres Körpers an diesen Aufenthalt die Organisation des Vogelkörpers zu studieren und uns zu fragen, ob wir daraus Lehren für unser Verhalten in der Luft ziehen können. — Bis jetzt hat uns das Studium des Vogelfluges wesentlich gefördert bei der Konstruktion der Flugzeuge, welche durch mechanische Hilfsmittel die Wirkung der Schwere überwinden, also durch ähnliche Kräfte, wie sie der Vogel entfaltet, den Aufenthalt und die Fortbewegung in der Luft ermöglichen. — Auf diese mechanischen Hilfsmittel des Fliegens beziehen sich aber auch fast alle Unterschiede im Körperbau, welche den Vogel von den Landtieren unterscheiden. Die Besonderheiten seiner Atmung, seines Blutkreislaufs stehen nicht sowohl mit dem Aufenthalt in der Luft an sich als vielmehr mit dem sehr großen Aufwand an Muskelkraft, welchen derselbe nötig macht, und mit den mechanischen Anordnungen, welche diese konzentriert auf die Flügel wirken lassen, in Beziehung. Diese mechanischen Leistungen, für welche unsere Muskulatur weitaus zu schwach wäre, haben wir ja ganz und gar auf die Kraftmaschinen abgeschoben, welche unsere Flugzeuge treiben.

I. Der Arbeitsaufwand beim Fliegen.

Über die zum Fliegen nötige Arbeit ist es schwer, eine exakte Vorstellung zu gewinnen. In den Abhandlungen, welche sich mit dem Arbeitsaufwande des fliegenden Vogels beschäftigen, stoßen wir auf viele Unsicherheiten und Widersprüche. Wer sich mit dieser Frage eingehender beschäftigen will, sei auf die interessante Abhandlung von Prechtel aus dem Jahre 1846 verwiesen: „Untersuchungen über den Flug der Vögel". Hier finden sich schöne morphologische Studien über den anatomischen Bau des Vogelkörpers und eingehende mechanische Studien über Luftwiderstand und die aus ihm einerseits, dem Bau und der Bewegung der Flügel andererseits sich ableitende Mechanik des Fluges bei verschiedenen Vogelarten. — Eine Fülle wertvollen Materials enthält die im Jahre 1890 erschienene große Monographie von E. J. Marey: „Le vol des oiseaux". Hier kommt die Momentphotographie in Form von gut ausmeßbaren Serien zu ausgiebiger Verwendung. Bis zu 50 sukzessive Aufnahmen in einer Sekunde liefern das Material, welches in einem Schlußkapitel von Labouret einer eingehenderen mathematischen Analyse unterzogen wird. — Parseval: „Die Mechanik des Vogelfluges" (Wiesbaden 1889), verwendet schon einen Teil des von Marey in kurzen Mitteilungen veröffentlichten

Materials; er behandelt den Vogelflug mit stetem Ausblick auf die Konstruktion von Flugmaschinen.

Ahlborn: „Zur Mechanik des Vogelfluges" (Hamburg 1896), hat besonders den Segelflug der Vögel und seine mechanischen Bedingungen untersucht. Er erörtert genau, unter welchen Bedingungen der Vogel durch alleinige Benutzung der Energie des Windes emporsteigen kann. — Die Möglichkeit, fast ganz ohne eigene mechanische Kraft bei geschickter Benutzung des Windes zu fliegen, zeigt, wie schwer es ist, den Energieaufwand des Vogels und in Parallele damit die nötige Kraft der Maschine des Flugzeugs zu berechnen. Der Grenzfall nach oben ist bei unbewegter Luft offenbar dadurch gegeben, daß allein durch die mechanische Verdrängung der unter den Flugflächen befindlichen Luft die Schwere überwunden wird. Die Muskulatur müßte dann in jeder Sekunde eine Arbeit leisten entsprechend der Hebung des Vogelkörpers um 4,9 m, mit anderen Worten, es müßten für jedes Kilogramm Körpergewicht in der Sekunde 4,9 mkg Arbeit aufgewendet werden, um den Körper in der Luft schwebend zu halten. Babinet, der diesen Fall als allgemein gültig für die Berechnung der Flugarbeit ansieht, begegnet mit Recht dem scharfen Widerspruch von Marey (a. a. O. S. 328) und vielen anderen Forschern. Je nach der Stärke des Windes und der Geschicklichkeit, seine Energie zur Hebung des Körpers zu benutzen, wird der Arbeitsaufwand zwischen 0 und 4,9 mkg pro Sekunde schwanken; im Momente des Abfluges vom Boden wird er sicher diesen letzteren Wert noch übersteigen, und das gleiche gilt für den Kampf gegen abwärts gerichtete Luftströmungen. — Aus dieser Betrachtung geht hervor, daß ein Mensch von 70 kg Gewicht, wenn er sich ohne Hilfe des Windes in die Luft erheben will, mindestens eine Sekundenarbeit von $70 \times 4{,}9 = 343$ mkg $= 4{,}57$ Pferdekräften aufwenden müßte. Entsprechend ein Flugzeug, das mit aller Belastung 400 kg wiege, 1960 mkg $= 26$ PS. Diese Schätzung des minimalen Kraftbedarfs eines Flugzeugs dürfte mit den jetzt zahlreich genug vorliegenden praktischen Erfahrungen leidlich harmonieren. Hiermit ist aber schon die Unmöglichkeit, daß der Mensch mit eigenen Muskelkräften fliege, gegeben. Ich habe vor Jahren die maximale Arbeit, welche ein Mensch durch rasches Bergauflaufen leisten kann, bestimmt; sie beträgt etwa 2 Pferdekräfte $= 150$ mkg; solche Arbeit kann aber nur etwa ½ Min. lang geleistet werden; da 1 mkg 1,3 ccm Sauerstoff erfordert, bedingt sie innerhalb dieser Zeit einen Verbrauch von $1{,}3 \times 150 \times 30 = 5850$ ccm Sauerstoff, d. h. 48 mal soviel als der Mensch in absoluter Ruhe verbraucht. Unser Atemapparat kann eine solche Sauerstoffmenge nicht herbeischaffen. Wir sind deshalb nicht einmal für ganz kurze Zeit imstande so viel Muskelarbeit aufzuwenden, wie nötig wäre, um uns mit Hilfe eines idealen Flügelapparates in die Luft zu erheben. Dazu kommt, daß unsere Muskeln für die Aufgabe, einen Flügelmechanismus zu betätigen, äußerst ungünstig angeordnet sind, im Gegensatze zum Vogel, bei dem der mächtige, den Schlag des Flügels bewirkende Brustmuskel an dem unbeweglich mit der Wirbelsäule verbundenen Brustbeinkamm eine starre Ursprungsfläche hat und mit seiner ganzen Zugkraft auf den Oberarm, den beweglichen Träger des Flügels, wirkt. Dabei wiegt dieser eine Muskel z. B. beim Rebhuhn 14 Proz., mit seinem Antagonisten, dem Flügelheber, zusammen gar 19 Proz. des Körpergewichts, d. h. die Hälfte des Gewichts der ganzen Muskulatur. — Aus allen vorliegenden Untersuchungen



geht hervor, daß beim Vorhandensein hinreichend großer und gut geformter Flugflächen die zum Fliegen nötige Arbeit proportional der Körpermasse, wahrscheinlich sogar in geringerem Verhältnis als diese wächst. Hiernach würde es kaum eine Grenze der Größe der Vögel geben, wenn die Leistungsfähigkeit der Muskulatur ihrem Gewicht und damit auch dem Gewichte des ganzen Tieres proportional wäre. Dies ist aber nicht der Fall. Im ganzen Tierreich, bei Kaltblütern, wie bei Warmblütern, kann man nachweisen, daß die Intensität der krafterzeugenden Oxydationsprozesse mit der Größe der Organismen abnimmt. Ein Pferd produziert freilich mehr Energie als eine Maus, aber 1 kg Maus bedeutend mehr als 1 kg Pferd. Schon in der Ruhe zersetzen kleinere Organismen auf gleiches Körpergewicht eine viel größere Nährstoffmenge. Der Verbrauch an Nährstoffen, oder, was damit gleichwertig ist, der Verbrauch an Sauerstoff und die Produktion von Wärme resp. äquivalenten Energieformen ist bei verschiedenen Lebewesen dem Quadrat der dritten Wurzel ihres Gewichts proportional. Es gilt also für 2 Tiere, deren Gewichte P und p und deren Sauerstoffverbrauch S und s beträgt, die Proportion

$$S : s = P^{2/3} : p^{2/3}$$

Für den Verbrauch pro 1 kg Körpergewicht aber folgt daraus:

$$\frac{S}{P} : \frac{s}{p} = \frac{P^{2/3}}{P} : \frac{p^{2/3}}{p}$$
$$= P^{-1/3} : p^{-1/3}$$

Es beträgt nun der Verbrauch des 70 000 g wiegenden Menschen pro kg und Stunde = 210 ccm Sauerstoff in absoluter Ruhe; hieraus berechnet sich der eines 20 g wiegenden Finken nach der Proportion:

$$210 : x = 70\,000^{-1/3} : 20^{-1/3}$$
$$x = 3\,188 \text{ ccm Sauerstoff pro 1 kg und 1 Stunde,}$$

d. h. der Finke wird in der Ruhe etwa 3188 ccm O pro Kilogramm aufnehmen, während der Mensch 210 ccm verbraucht. Wir sahen, daß zum Emporsteigen in die Luft 4,9 mkg pro kg und Sekunde oder 17 640 mkg pro Stunde zur Verfügung sein müssen. Nun erfordert nach meinen Untersuchungen, die an Menschen, Pferden, Rindern und Hunden angestellt sind, 1 mkg Arbeit rund 1,3 ccm Sauerstoff. Wir dürfen annehmen daß dies beim Vogel nicht anders ist. Eine stündliche Arbeit von 17 640 mkg würde demnach rund 23 l Sauerstoff erfordern, das ist das 100 fache der Sauerstoffmenge, welche der ruhende Mensch, das 5½ fache von der welche der ruhende Finke verbraucht. Ein Mensch, der sich in lebhaftem Spiel oder beim Bergansteigen nach Behagen tummelt, braucht etwa 5 mal soviel wie in der Ruhe; ein Pferd bei bequemer Arbeit ebenso, bei sehr angestrengter bis zum 18 fachen. Ein Sperling, der in einem geräumigen Käfig seinem Behagen überlassen ist, braucht nach Regnaults und Reisets direkten Bestimmungen etwa 7000—10000 ccm O pro kg und Stunde (im Durchschnitt von 24 Stunden, worin die Zeit des Schlafens einbegriffen ist) d. h. sein Verbrauch beim Umherhüpfen im Käfig braucht nicht einmal verdoppelt zu werden, damit er ohne Hilfe des Windes fliegen kann.

Das eben dargelegte Gesetz, wonach die Intensität der kraftliefernden Oxydationsprozesse dem Quadrat der dritten Wurzel des Körpergewichts proportional

ist, bedeutet mit anderen Worten, daß sie der Körperoberfläche proportional ist. Bei geometrisch ähnlichen Figuren, und das sind die verschiedenen Tiere, wenigstens in gewisser Annäherung, ist ja die Oberfläche dem Quadrate, die Masse dem Cubus einer linearen Dimension, etwa der Körperlänge, proportional. Wenn wir Tiere mit sehr gedrungenem Körperbau und kleinen Extremitäten mit langgestreckten, deren Extremitäten und sonstige Anhänge (z. B. die Ohren beim Kaninchen) besonders stark entwickelt sind, vergleichen, fällt freilich der Faktor, mit welchem wir das Quadrat der dritten Wurzel des Gewichts multiplizieren müssen, um die wirkliche Oberfläche zu finden, ziemlich verschieden aus, aber diese Differenzen kommen wenig in Betracht, wenn es sich um sehr kleine und sehr große Tiere handelt. Es ist übrigens noch nicht sicher entschieden, ob die Größe des Stoffwechsels mehr durch die wirkliche Körperoberfläche bestimmt wird oder durch andere Momente, welche dem Ausdruck $P^{2/3}$ proportional sind. Ursprünglich glaubte man, das „Oberflächengesetz" gelte nur für Warmblüter und es sei bedingt durch den der Körperoberfläche proportionalen Wärmeverlust der Tiere (Bergmann, Rubner, Richet). Man sagte sich, ein Tier, das eine konstante, die Temperatur der Umgebung erheblich übertreffende Eigenwärme hat, kann diese nur erhalten, wenn seine Wärmeerzeugung dem Verluste, d. h. der ausstrahlenden Oberfläche, entspricht. Dies wäre richtig, wenn nicht die Größe der Ausstrahlung je nach der äußeren Temperatur und der Beschaffenheit der Haut (Fettschichten, Haar-, Federkleid) ganz außerordentlich variierte. Der entscheidende Beweis gegen die ausschlaggebende Bedeutung des Wärmeverlustes für die Größe des Minimalstoffwechsels (Erhaltungsumsatzes) der Tiere ist aber die Tatsache, daß das Oberflächengesetz den Stoffwechsel der Kaltblüter (Amphibien, Reptilien, Fische) ebenso wie den der Warmblüter bestimmt. Es müssen also tiefer liegende Ursachen für dieses Gesetz bestehen. v. Hösslin hat eine ganze Reihe solcher nachgewiesen. Von ihnen sei erwähnt die Zunahme des für die Lokomotion mit bestimmter Geschwindigkeit nötigen relativen Energieaufwandes bei kleineren Tieren. Man kann durch die mechanische Analyse der Bewegungen der Extremitäten beim Laufen nachweisen, daß die zur Bewegung der Körpermasse mit bestimmter Geschwindigkeit erforderliche Arbeit nicht proportional dieser Masse, sondern proportional dem Quadrat der Länge der Gliedmaßen wächst, d. h. wieder proportional dem Quadrat der dritten Wurzel des Körpergewichts. Die tatsächliche Richtigkeit dieser Beziehung hat Slowtzoff unter meiner Leitung durch Messung des Sauerstoffverbrauchs laufender Hunde von 4 bis zu 40 kg Gewicht nachgewiesen. — Für die Bewegung der Fische im Wasser hat v. Hösslin die Gültigkeit des Gesetzes abgeleitet, und sicher besteht sie auch beim fliegenden Vogel. Es gibt noch eine ganze Reihe anderer Gründe, welche mitwirken, daß die Leistungen proportional der Oberfläche wachsen. Dazu kommt, daß die Versorgung des Körpers mit Nährmaterial auch um so schwieriger wird, je mehr die Masse des Körpers wächst; die Aufsaugung der Nahrung hängt von der Oberfläche, nicht von der Masse des Darmkanals ab; das zirkulierende Blut hat um so weitere Wege zurückzulegen, ehe es die Kapillaren der Organe erreicht, von denen aus es die Zellen ernährt, je größer das Tier ist. Da nun die Geschwindigkeit des Blutstromes eine gewisse Grenze nicht überschreiten darf, wenn die Arbeit des Herzens nicht ins ungebührliche wachsen soll, braucht der



Blutstrom vom Herzen zu den Kapillaren und von diesen durch die Venen zurück zum Herzen um so mehr Zeit, je größer das Tier ist. Die Zeit eines Blutumlaufs ist, wie Vierordt durch exakte Messungen zuerst nachgewiesen hat, dem Quadrat der dritten Wurzel des Körpergewichts proportional. Da nun die Blutmenge bei allen Warmblütern ungefähr dieselbe ist ($^1/_{13}$—$^1/_{22}$ des Tiergewichts), ist die Versorgung der Organe mit Blut, also auch mit Nährstoffen und mit Sauerstoff um so reichlicher, je kleiner das Tier ist. Damit ist aber gegeben, daß große Tiere über den Arbeitsaufwand, der beim Fliegen unter Umständen nötig ist, nicht verfügen. — Die Größe der fliegenden Tiere mußte eine beschränkte bleiben, auch wenn das größere Tier dieselbe Masse etwas leichter in der Luft schwebend erhalten könnte als das kleinere. — Fliegende Tiere von der Größe und dem Gewicht des Menschen kann es gemäß den Beziehungen, welche zwischen Körpergewicht und Arbeitsleistungen bestehen, nicht geben. Wenn man auf Grund der gefundenen Knochenreste annimmt, daß in früheren Erdepochen sehr große fliegende Saurier existiert haben, so bleiben doch alle Hypothesen über die Art ihrer Fortbewegung in der Luft äußerst unsicher. Vielleicht haben sie ihren Flugapparat nur benutzt, um sich aus der Höhe schräg abwärts auf die Beute zu stürzen. Ein sich Erheben in die Luft unter entsprechender Benutzung des Windes erscheint auch für solche Riesenorganismen möglich, nicht aber ein von Wind und Wetter ganz unabhängiges Fliegen.

Da wir bei unseren Flugversuchen die eigene Muskelkraft ganz ausgeschaltet haben und uns wenigstens heute noch ausschließlich der Explosionsmotore bedienen, welche auf 1 kg Gewicht etwa so viel Arbeit ohne Ermüdung leisten, wie 60 kg Mensch nur kurze Zeit aufbringen können, dürfen wir den fliegenden Menschen nicht mit dem ganzen Vogel vergleichen. Er entspricht in der Flugmaschine nur dem Hirn oder vielmehr dem gesamten Nervensystem des Vogels mit Einschluß seiner Sinnesorgane, das auf komplizierte Weise die Arbeit der Muskulatur regelt und sie in eminent zweckmäßiger Weise den in der Luft von Moment zu Moment wechselnden äußeren Bedingungen anpaßt.

II. Allgemeines und Umgrenzung der Aufgabe.

Der Schwerpunkt der besonderen Leistungen, welche die Aviatik von uns fordert, liegt auf psychischem Gebiete in weitestem Umfange. Sie erfordert Besonderheiten in der Leistung unserer Sinne und in der Verwertung der Sinneseindrücke; nur bei Hochfahrten kommen auch die durch die Luftverdünnung bedingten Störungen des Stoffwechsels in Betracht.

Wir teilen daher zweckmäßig unsere Aufgabe in die Behandlung der beiden Hauptkapitel

Sinnesorgane und Reaktion auf deren Erregung.

Atmung in großen Höhen und bei raschem Höhenwechsel.

Für die Handhabung der Flugzeuge kommt besonders das erste Kapitel in Betracht, weil wir hier unter ganz ungewohnten Verhältnissen unsere Sinne gebrauchen und auf deren Eindrücke zweckmäßig reagieren müssen. Die Atmung



spielt hauptsächlich wegen ihrer indirekten Einwirkungen auf die Hirntätigkeiten bei jenen Höhenflügen, welche die Grenze von 2000 m übersteigen, eine Rolle; ausschlaggebend ist aber die Leistungsfähigkeit unseres Atemapparates für die Höhengrenzen, welche der Mensch im Freiballon erreichen kann.

Leider ist es nur ein sehr beschränktes Maß von aëronautischen Erfahrungen, welches mir persönlich zur Erörterung der in Frage stehenden Verhältnisse zu Gebote stehen; im Freiballon habe ich nur eine Höhe von 5000 m erreicht; zur Fahrt in Zeppelins „Schwaben“ bot sich mir im vergangenen Jahr einmal Gelegenheit, für die ich der Leitung der Deutschen Luftschifffahrts-Gesellschaft zu besonderem Dank verpflichtet bin. Immerhin förderte diese eine Fahrt meinen Einblick in die Einwirkungen der Motorluftschiffahrt auf unseren Organismus wesentlich, weil sie bei stark böigem Wetter erfolgte und infolge dessen die Einwirkungen der dadurch bedingten Schwankungen des Luftschiffes, jäher Änderungen der Höhenlage und des scharfen Windes bei starkem Angehen des Schiffes gegen den Wind, besonders gut beobachtet werden konnten.

Gegenüber der feierlichen Ruhe im Freiballon, die ja, wenn nicht ganz exzeptionelle Unregelmäßigkeiten des Windes herrschen, vielleicht den erschütterungsfreiesten Zustand darstellt, in dem sich der Mensch überhaupt befinden kann, fühlt man im Motorschiff auf alle Fälle das Ankämpfen gegen den Luftwiderstand. Die dadurch bewirkten Vibrationen der Gondel waren bei meiner Fahrt am 29. Oktober 1911 besonders stark wegen der das Luftschiff zeitweise von der Seite treffenden Windstöße und der den frischen WNW-Wind von 10—11 m/sec. begleitenden heftigen vertikalen Böen. Die Stetigkeit der Fahrt litt auch noch unter dem Umstande, daß das Schiff nur mit zwei Motoren fuhr. Das achterliche Backbordgetriebe war abmontiert. Immerhin blieben die Erschütterungen so gering, daß man leicht in der Gondel schreiben konnte, wenn auch die Schrift zittrig und unruhig wurde, sobald man das Papier auf den Bord oder Tisch auflegte. Unter normalen Verhältnissen soll selbst dies nicht der Fall sein.

Der Intensität nach gleichen die von mir beobachteten Erschütterungen denen, welche wir in einem sehr gut federnden Eisenbahnwaggon empfinden; sie sind aber doch von wesentlich anderem Charakter. — An Stelle der durch die Schienenzwischenräume bedingten Erschütterungen treten Schwingungen der Metallteile des Luftschiffes, welche sich auf die an ihnen mit metallenen Trägern befestigte Kabine übertragen und welche ihren Ursprung wohl im wesentlichen in der Arbeit der Motoren haben. — Die dem Stampfen eines Schiffes vergleichbaren Hebungen und Senkungen der Spitze des Luftschiffs waren bei der Fahrt, an welcher ich teilnahm, ungewöhnlich starke und machten sich auch in der annähernd in der Mitte des ganzen Schiffskörpers angehängten Passagierkabine kräftig geltend. — Überraschend war mir und anderen Teilnehmern der Fahrt, welche bei Seefahrten starke Disposition zur Seekrankheit gezeigt hatten, daß hier sich nicht die leisesten an diese erinnernden Symptome bemerkbar machten. Es muß wohl an der großen Langsamkeit und Regelmäßigkeit, mit der die stampfenden Bewegungen des Luftschiffs erfolgten, liegen, daß dieselben absolut keine unangenehmen Sensationen erzeugten und daß jedes Symptom von Übelkeit oder Schwindel ausblieb. — In bezug auf das Fehlen des Schwindelgefühls

beim Hinabschauen aus der Gondel auf die Erde verhält sich der Aufenthalt in der Kabine des Luftschiffs genau so wie der in der Gondel des Freiballons. Menschen, welche auf hohem Balkon eines Hauses von Schwindel befallen werden, sehen aus der so viel steileren Höhe im Ballon ohne jede ängstliche Empfindung auf die Erde herab[1]). — Entsprechend diesem Fehlen jeglicher unbehaglicher Empfindung konnte ich auch bei keinem der Mitfahrenden etwas von jenen Störungen in der Herztätigkeit und der Zirkulation des Blutes beobachten, welche bei Seefahrten aufzutreten pflegen. Weder irgendwelche jähe Schwankungen der Pulsfrequenz noch Verengerungen und Erweiterungen der peripheren Arterien, wie sie sich im Erblassen und Erröten des Gesichts kundgeben, waren bei einem der Teilnehmer wahrnehmbar. Dies ist um so bemerkenswerter als die Mehrzahl der Fahrgäste und speziell die mitfahrenden Damen sich niemals vorher in einem Luftballon befunden hatten. Man erkennt hieraus, wie groß das Gefühl der Gefahrlosigkeit und Sicherheit bei den Teilnehmern einer derartigen Fahrt ist. In der Tat muß auch der Ängstlichste, wenn er die Sicherheit der Manövrierung des riesigen Luftschiffs beobachtet, wenn er sieht, wie durch das Zusammenarbeiten der Propeller und Steuer des Schiffes und der dasselbe haltenden Mannschaften die Landung, die Fortbewegung über der Erdoberfläche und die Unterbringung in die Halle mit der Sicherheit der Rangierung eines Eisenbahnzuges erfolgt, jeden Gedanken an Gefahr verlieren. — Wenn man dem Freiballon, der jedem Luftstrom, in dem er sich befindet, willenlos folgen muß, im Momente der Abfahrt ein hoffendes und leise fürchtendes „Glück ab" mit Recht zuruft, so schwindet solche Sorge, wenn man den Zeppelinkreuzer scharf in der gewollten Richtung gegen den Wind ankämpfen sieht, wenn man erkennt, mit welcher Sicherheit sein Lenker aufwärts und abwärts, nach rechts und links das Fahrzeug steuert. Über die Empfindungen bei der Fahrt mit den anderen bewährten Luftschiffsystemen kann ich leider aus eigner Erfahrung Nichts aussagen.

Erst während ich mit Ausarbeitung der folgenden Darlegungen beschäftigt war, bot sich mir Gelegenheit, wenn auch nur auf einer kurzen Passagierfahrt die Empfindungen kennen zu lernen, welche den eigentlichen Flug begleiten. Herr Hirth, der Sieger der Dauerfahrt München—Berlin, der inzwischen auch die oberrheinischen Zuverlässigkeitsflüge und den Flug Berlin—Wien siegreich bestritten hat, hatte die Güte, mit mir bei einigermaßen böigem Wetter einige Runden um den Johannisthaler Flugplatz zu fliegen[2]). Mit Staunen

[1]) Während der Korrektur finde ich in der Naturw. Wochenschrift vom 26. Mai d. Js. S. 326 eine Beobachtung über sehr heftige Schwindelgefühle im Freiballon von einem Manne, der sich selbst als Neurastheniker und leicht zu Schwindel neigend charakterisiert. Nachdem er die allgemeine Auffassung, „daß im Korb nie über Schwindel geklagt wird", erörtert hat, sagt er: „Schon kurz nach dem Aufstiege war es mir unmöglich mit Ruhe über den Korbrand hinabzusehen. Ein Blick, dann überkam mich ein lähmendes Gefühl, eine Schwäche in der unteren Körperhälfte, so daß ich mich wieder nach dem Innern des Korbes wenden mußte. Dieses niederträchtige Gefühl steigerte sich mit zunehmender Erhebung über der Erdoberfläche. Ja, wie ich jetzt hinabsah, war es mir, als müßte ich über den Korbrand hinausspringen." — Jedenfalls handelt es sich hier um eine seltene Ausnahme.

[2]) Mit besonderem Dank möchte ich hier erwähnen, daß mir der Flug mit Hirth ebenso wie die vorher erwähnte Fahrt auf der „Schwaben" durch den Herrn Herausgeber von „Luftfahrt und Wissenschaft" ermöglicht worden ist.



sieht der Gast, wie vollkommen der gewandte Flieger sein Flugzeug in der Hand hat, mit welcher Sicherheit er enge Kurven beschreibt, wie er auf- und abschwebt, rasch zur Erde herabsinkt, ein bestimmtes Ziel präzise wie der auf seine Beute stoßende Raubvogel erreicht, um sich dann, ganz nahe über dem Erdboden dahingleitend, wieder stolz in die Luft zu erheben. — Viel mehr noch als in der Gondel des Lenkballons fühlt man mit dem Flugzeug die Luft durchschneidend, die frische Kraft des Luftwiderstandes, die nur erträglich wird, wenn fast der ganze Körper in warmes Zeug gehüllt, die Augen durch eine gut schließende Schutzbrille gegen den Anprall des Windes geschützt sind, den man mit 60 bis 120 Kilometer Stundengeschwindigkeit durch die Luft sausend, sich selbst erzeugt. Es ist selbstverständlich für unser Empfinden ganz gleichgültig, ob wir ruhig stehend vom Winde bestimmter Geschwindigkeit angeblasen werden, oder ob wir die Luft fliegend mit der gleichen Geschwindigkeit durchschneiden. — Die Nickhaut des Vogelauges, jenes durchsichtige, von der Seite vor das Auge zu schiebende dritte Lid, erkennen wir hier in seiner Bedeutung und Notwendigkeit als Schutzorgan des Auges, das während des Fluges die Fernsicht kaum hindert und momentan zur Seite geschoben wird, wenn etwa eine Beute, ein am Boden liegendes Korn scharf aus der Nähe betrachtet werden soll. Eine Vervollkommnung unserer Schutzbrillen, die rasches Entfernen und Verschieben der Gläser gestattete und die dieselben zugleich immer wieder automatisch blank putzte, von Staub und Wasserdampf reinigte, wie das beim Zurückziehen der Nickhaut mit dieser geschieht, könnte die Leistungsfähigkeit des Fliegers in gefährlichen Momenten wesentlich erhöhen, wäre ein nicht unwesentlicher Sicherheitsfaktor.

Die ruhige Sicherheit, mit welcher man unter der Obhut eines seine Maschine absolut meisternden Fliegers die Luft durchschneidet, läßt uns doch nicht verkennen, wie sehr diese Sicherheit auf der unentwegten Wachsamkeit und dem schnellen und sichern Handeln des Fliegers beruht. Von dem durch die Sonne durchwärmten Boden erheben sich ganz lokale aufsteigende Luftströmungen und Wirbel, eine dunkle unbewachsene Bodenfläche wird viel stärker erwärmt als eine grüne, und über ihr wirbelt darum die Luft empor; in der Nähe von Bäumen und Häusern erfährt der Wind eine starke Ablenkung nach oben. So verstehen wir einerseits das Streben nach technischen Vervollkommnungen, welche durch die Form der Flügel und Steuerflächen, durch zweckmäßige Disposition der Belastung die Stabilität des Flugzeuges zu erhöhen streben, andererseits die Notwendigkeit, daß der Flieger so rasch als möglich jede Gleichgewichtsstörung wahrnimmt und blitzschnell, möglichst ohne daß irgend ein Überlegen notwendig ist, das Richtige zu ihrer Ausgleichung tut.

Als ich im Flugzeug die Luftströmungen wahrnahm, welche durch die Unregelmäßigkeit der Erwärmung zustande kommen, trat mir eine Beobachtung lebhaft vor Augen, welche ich vor einigen Jahren machen konnte, als ich von der Königin-Margheritahütte auf der Gnifettispitze des Monte Rosa 4560 m über dem Meere nach Italien hinabschaute. Ich sah da plötzlich im Sesiatale 3000 m unter uns und in der Luftlinie etwa 5 km entfernt eine Staubwolke aufwirbeln. Es dauerte nur wenige Minuten, bis ein Teil dieser Staubwolke bis zu uns hinaufgewirbelt war. Demgemäß muß man die Geschwindigkeit dieses aufsteigenden Luftwirbels auf



etwa 30 Sekundenmeter schätzen, das heißt auf einen Wert, der wenigstens der Eigengeschwindigkeit des schnell fahrenden Aëroplans gleichkommt. Ich mußte an diese Beobachtung denken, als ich von dem traurigen Ende des kühnen Chavez nach Überfliegung des Simplon las; sein Todessturz erfolgte kaum 30 km nordwestlich von jener Stelle, wo ich jenen gewaltigen Luftwirbel beobachtete und in einem dem oberen Sesiatale ähnlich konfigurierten engen aus dem Hochgebirge steil herabziehenden Flußtale. Wir werden dies traurige Ereignis später noch von einem anderen Gesichtspunkte aus erörtern. Es liegt nämlich nahe, daran zu denken, daß die gefährlichen Luftstöße wohl in einem Moment den Luftschiffer trafen, in welchem seine Fähigkeit, sie zu parieren, durch die klimatischen Einwirkungen stark herabgesetzt war.

III. Die Sinnesorgane in ihrer Beziehung zur Luftfahrt.

Unsere Sinne lenken unser Verhalten in doppelter Weise, einmal, indem sie bewußte Vorstellungen vermitteln, die dann unser Handeln bestimmen, und andererseits, indem auf die Sinneseindrücke unbewußt Reaktionen unseres Bewegungsapparates erfolgen, die wir als Sinnesreflexe bezeichnen. Zwischen diesen beiden Extremen gibt es Übergänge, wo zwar Bewußtseinsvorgänge durch den Sinneseindruck ausgelöst werden, die Reaktion aber schon erfolgt, ehe der psychische Vorgang beendet, ehe der Eindruck bewußt verarbeitet ist. — Diese unbewußten und halbbewußten Reaktionen auf Sinneseindrücke regeln unsere normalen Bewegungen auf der Erde, das Gehen, Laufen, Springen, Reiten, Radeln, die komplizierten Verschiebungen unseres Körperschwerpunktes bei den mannigfachen Hantierungen des praktischen Lebens, bei den Kunststücken des Turners und des Akrobaten. Vier verschiedene Sinnesorgane sind es, welche hierbei zusammenwirken, der Hautsinn, der Muskelsinn, die mit dem achten Hirnnerven zusammenhängenden Apparate in unserem Ohrlabyrinth und der Gesichtssinn. — Für alle diese Apparate verschieben sich die normalen Reize und vor allen Dingen der Erfolg der gewohnten Reaktion auf diese Reize, wenn wir in der Luft schweben, statt den festen Erdboden mit unseren Füßen zu berühren.

Von höchster praktischer Bedeutung werden diese Dinge für den Flieger, der in jedem Momente des Fluges auf die feinsten Verschiebungen der Lage seines Flugzeuges reagieren muß, zum Teil so schnell reagieren muß, daß jede bewußte Überlegung ausgeschlossen ist. Hier kann es für ihn verderblich werden, wenn die angeborenen oder in frühester Jugend erlernten, durch die ständige Übung maschinenmäßig gewordenen Reaktionen der Muskulatur, welche den mechanischen Bedingungen auf festem Boden angepaßt sind, störend mit den Aktionen interferieren, welche zur Steuerung und Äquilibrierung des Flugzeuges nötig sind. Darum kann die Physiologie durch exaktes Studium der auf Gleichgewichtsstörungen erfolgenden unbewußten Bewegungen wichtige Anhaltspunkte für die Konstruktion der Aëroplane resp. ihrer Steuereinrichtungen liefern. Wir wollen nun dazu übergehen, aus der Physiologie der beteiligten Sinnesorgane das für den Flieger wichtigste zu besprechen.

A. Der Haut- und Muskelsinn.

Unser Urteil über das Gewicht sowie über die Bewegungsenergie der mit unserem Körper in Berührung kommenden Objekte wird durch das Zusammenwirken des Haut- und des Muskelsinnes bestimmt. Organ des ersteren sind Nervenendigungen, welche in den tiefsten Schichten der Oberhaut und in den obersten Partien der Lederhaut, speziell in den auf dieser sich erhebenden mikroskopischen fingerförmigen Fortsätzen, den Hautpapillen sich finden. — Zur einfachsten Prüfung seiner Leistung dienen Belastungsversuche, wie sie Ernst Heinrich Weber zuerst systematisch angestellt hat. Wenn man den Handrücken bequem auf eine feste Unterlage stützt und dann auf die Haut der Hohlhand oder eines Fingers Gewichte auflegt, so kann man leicht eine untere Grenze finden, bei der die Belastung als solche wahrgenommen wird, die „Reizschwelle" des Drucksinns an der betreffenden Hautstelle und unter dem obwaltenden Zustande des Nervensystems der Versuchsperson. Indem man das erste Gewicht durch andere schwerere ersetzt, findet man, wie groß der Zuwachs der Belastung sein muß, damit man mit Sicherheit das zweite Gewicht als schwerer erkennen kann.

Es ergibt sich bei diesen Versuchen die fundamentale Tatsache, daß nicht ein bestimmtes Mehr an absolutem Gewicht einen erkennbaren Unterschied herbeiführt, daß vielmehr hierzu bei wachsender Belastung stets größere Zuwachsgewichte erforderlich sind. Das zur sicheren Erkennung des Unterschieds nötige Zusatzgewicht, die „Unterschiedsschwelle", muß bei jeder Belastung denselben Bruchteil derselben darstellen. Anders ausgedrückt, die Empfindlichkeit für Unterschiede der Reizgröße nimmt ab proportional der absoluten Größe des Reizes. Dieses zuerst für Druckreize gefundene „Webersche Gesetz" hat sich für alle Sinnesreize als gültig erwiesen. Bei der Temperaturempfindung muß der Unterschied um so größer sein, damit er wahrnehmbar werde, je weiter die wirkende Temperatur von der Wärme der Haut, welche hier den Nullpunkt bedeutet, abweicht. Das gleiche Gesetz macht sich bei der Vergleichung von Schallstärken, von Gesichtseindrücken geltend.

Wie eingangs erwähnt, dient uns neben dem Hautsinn der Muskelsinn zur Prüfung der Schwere von Objekten. Er spielt die wesentliche Rolle, wenn wir einen Gegenstand mit der Hand „abwägen"; wenn wir das zu prüfende Gewicht in die Hand nehmen oder es mit einem Faden an dieselbe anhängen und es durch abwechselnde Zusammenziehung und Erschlaffung der Armmuskeln heben und senken. Bei diesem Verfahren können wir Gewichtsunterschiede viel feiner erkennen als mit Hilfe des Drucksinns der Haut. Der Sitz dieser Empfindungen sind Nervenendigungen in den Sehnen, speziell in dem an die Muskelfasern angrenzenden Teile derselben, ferner solche zwischen den Muskelfasern selbst und in den einander berührenden Gelenkenden der Knochen. Aus den Eindrücken, welche diese verschiedenen Empfindungsnerven dem Hirne zuleiten, setzt sich die Vorstellung von der Größe des Zuges, welcher die Muskeln und Sehnen dehnt und auf die Gelenkenden drückt oder an ihnen zerrt, zusammen. Es kommt aber noch ein zweiter zerebraler Faktor hinzu, das ist die Kenntnis von der Stärke der Bewegungsimpulse, die wir unseren Muskeln zuschicken müssen, damit sie durch ihre Zusammenziehung die Last eben heben, ihr das Gleichgewicht halten oder sie langsam sinken lassen.



Bedeutungsvoll für die Beurteilung des Drucks und der Schwere ist der Umstand, daß gleichzeitige Erregung anderer Hautsinne die Druckempfindung ändert und dadurch das Urteil fälschen kann. Beispielsweise wird ein Gewicht schwerer geschätzt, wenn es kalt ist. Ähnliche Erscheinungen beobachtet man bei anderen Sinnen; man schätzt die Süße einer Zuckerlösung stärker, wenn eine geringe für sich nicht schmeckbare Menge Salz zugefügt wird; aber auch die entgegengesetzte Beeinflussung, die Minderung eines Sinneseindrucks durch einen zweiten gleichzeitigen wird vielfach beobachtet.

Die eben charakterisierten Sinnesempfindungen der Haut und der Muskeln spielen nun ständig eine große Rolle für die Erhaltung des Gleichgewichts beim Stehen, Gehen und allen Bewegungen des Menschen. Unser Stehen ist ein labiles, die einzelnen Gelenke unserer unteren Extremitäten würden durch ganz geringe Verlagerungen der auf ihnen ruhenden Last zusammenknicken; der ganze Körper würde, wenn keine Gegenwirkungen der Muskulatur stattfänden, durch geringe Verschiebung der Lage seines Schwerpunktes, wie sie etwa beim Bewegen eines Armes erfolgt, zum Umfallen gebracht werden. Man kann leicht nachweisen, daß ein ruhig stehender Mensch niemals wirklich unbeweglich steht, daß vielmehr ständig eine leichte Neigung des Körpers bald nach der einen und bald nach der anderen Seite, nach vorn und nach hinten, stattfindet. Der stehende Körper bewegt sich ähnlich wie etwa ein langer Stab, den wir auf einem Finger senkrecht balancieren. Hier gleichen wir den Beginn des Falles dadurch aus, daß wir unsere Hand in derselben Richtung bewegen, nach der sich die Spitze des Stabes senkt und dadurch bewirken, daß die Schwere nunmehr auf das obere Ende in einer Richtung wirkt, welche derjenigen, nach welcher der Stab zu fallen drohte, entgegengesetzt ist. Je früher die korrigierende Handbewegung einsetzt und je weniger sie über die Lage hinausgreift, in welcher der Stab senkrecht steht, desto geringer ist die für die Äquilibrierung nötige Handbewegung. Die Größe der Muskelarbeit hängt also von der Feinheit ab, mit welcher das Auge den Beginn der Senkung der Spitze nach einer Seite erfaßt und von der Schnelligkeit und Sicherheit, mit der die Muskeln der Hand die korrespondierenden Bewegungen ausführen. Ganz so wie mit der Arbeit unseres Armes bei der Äquilibrierung des Stabes, verhält es sich mit der Arbeit, welche unsere Rumpf- und Beinmuskeln ständig auszuführen haben, um den Körper in aufrechter Stellung zu erhalten. Die Art, wie beim stehenden Menschen die Schwerpunktsverschiebungen erfolgen, läßt sich nach einer von Generalarzt Leitensdorfer angegebenen Methode graphisch darstellen. — Man setzt einem ruhig stehenden Soldaten einen Helm auf und befestigt an dessen Spitze einen Stift, welcher auf ein darüber horizontal schwebendes berußtes Papier seine Bewegung aufzeichnet. Die sich aus den Aufzeichnungen ergebenden Schwankungen des Schädels der Versuchsperson sind um so erheblicher, je weniger geübt sie im Ruhigstehen ist. Sie nehmen ferner erheblich zu bei geschlossenen Augen, ein Beweis, daß das Sehen bei der Regulation des Stehens beteiligt ist. Die Schwankungen wachsen ferner, wenn die Haut der Fußsohle stark abgekühlt wird, wodurch die Feinheit ihres Tastsinnes leidet. Helles Licht auf die in Frage stehenden Mechanismen werfen die Beobachtungen, welche man bei der populär als Rückenmarksdarre bezeichneten Krankheit, der Tabes dorsalis, macht. Bei dieser Krankheit ergibt die

anatomische Untersuchung eine mehr oder weniger hochgradige Entartung gewisser Nervenbahnen des Rückenmarks, speziell der als Hinterstränge bezeichneten Faserzüge, welche die in das Mark eintretenden Empfindungsnerven mit jenen höher gelegenen Zentren verbinden, von welchen die Impulse zu den koordinierten Bewegungen des Körpers ausgehen. — Der hierdurch bedingte Ausfall an Empfindungen in bezug auf die Lage der Glieder, den Spannungsgrad der Muskeln, spricht sich in höchst charakteristischen Bewegungsstörungen aus. Die Kraft der Bewegungen ist durchaus erhalten, aber man vermißt deren genaue zweckmäßige Regelung. Wenn wir den im Bette liegenden Patienten bei geschlossenen Augen auffordern, ein Bein ein wenig zu heben, passiert es zuweilen, daß die Hebung nicht ausgeführt wird, weil der den Muskeln zugesandte Willensimpuls zu schwach ausgefallen ist, dann wieder wird das Bein mit gewaltigem Ruck emporgeschleudert, weit über die gewollte Hebung hinaus. Ähnliche Störungen beobachten wir beim Gehen. Zu jedem Schritt wird das Bein krampfhaft vorgeschleudert; statt gerade nach vorn wird es in einem auswärts gerichteten Bogen vorwärts bewegt und dergl. (ataktischer Gang). Besonders charakteristisch ist, daß die Gehstörungen im Dunkeln oder bei verschlossenen Augen erheblich zunehmen, bei einigermaßen vorgeschrittenem Leiden ist das Gehen im Dunkeln unmöglich, der Patient fällt beim ersten oder zweiten Schritt zu Boden. Das gleiche beobachten wir beim freien Stehen. Jene leichten, ständig durch entsprechendes Muskelspiel korrigierten Schwankungen des stehenden Körpers, welche uns die Helmspitzenkurven erkennen lassen, sind beim Tabiker so gesteigert, daß das Hin- und Herwackeln des Körpers ohne weiteres in die Augen fällt. Bei verschlossenen Augen steigert sich die Unsicherheit des Stehens viel mehr als dies beim Gesunden der Fall ist; meist ist ohne Kontrolle durch den Gesichtssinn das Stehen unmöglich, der Patient muß gehalten werden, damit er nicht zu Boden falle, sobald er die Augen schließt.

Einen weiteren Einblick in den das Stehen und Gehen vermittelnden Komplex von Empfindungen vermittelt ein zuerst von den Neurologen Westphal und Erb studiertes Phänomen. Man lege ein Bein so über das andere, daß der Oberschenkel dicht über dem Knie gestützt ist, der Unterschenkel mit dem Fuße, also in starker Beugung, schlaff herabhängt. Wenn man jetzt einen kurzen, mäßig starken Schlag mit der Innenkante einer Hand oder mit einem gepolsterten Hämmerchen (Perkussionshammer) auf die Strecksehne des Unterschenkels, dicht unter der Kniescheibe ausübt, wird der Unterschenkel durch eine kräftige Zuckung des Streckmuskels emporgeschleudert. Je nach der Erregbarkeit des Nervensystems ist das „Kniephänomen“ mehr oder weniger stark, beim Tabiker fehlt es vollständig. Durch das genauere Studium des Phänomens ist sichergestellt, daß es sich nicht etwa um eine direkte Reizung der Muskelfasern durch die von der Sehne her geübte Zerrung handelt, daß vielmehr die mechanische Erregung der Nervenendigungen in der Sehne nach dem Rückenmark fortgeleitet wird und hier durch Vermittlung bestimmter Ganglienzellen auf die motorischen Fasern übergeführt wird, welche dem Muskel den Impuls zur Kontraktion übermitteln. Es handelt sich also um einen richtigen Reflexvorgang, wie er etwa uns entgegentritt in dem Zurückziehen des Fußes, wenn wir die Sohle kitzeln, in dem Verschluß der Augenlider, wenn ein Gegenstand dem Auge genähert wird oder die Zilien am Lidrande berührt. — Wir

bezeichnen deshalb das Kniephänomen auch als „Sehnenreflex" im Gegensatz zu „Hautreflex", „Lichtreflex" in den eben geschilderten Beispielen. Ähnliche Sehnenreflexe wie am Knie bestehen am Fußgelenk, Ellenbogengelenk usw. Wie der Schlag, so bewirkt auch jeder Zug an der Sehne in der Längsrichtung den Reflex. Wir müssen daher in ihm einen Teil des Mechanismus suchen, welcher bei jeder die Sehne anspannenden Gleichgewichtsstörung des Körpers durch sofortige reflektorische Spannung des Muskels den Fall hemmt und die normale senkrechte Stellung des Körpers wieder herstellt.

B. Der Gesichtssinn.

Während die Sehnenreflexe ebenso wie die von der Hautoberfläche ausgelösten auf beschränkte Muskelgruppen wirken, beeinflußt das Auge die gesamte Muskulatur des Körpers im Sinne der Erhaltung des Gleichgewichts einerseits, der Bewegung auf ein bestimmtes Ziel hin andererseits. Die vom Auge regulierten Bewegungen sind ganz besonders geeignet, uns die Schwierigkeiten klar zu machen, welche dem Flieger daraus erwachsen, daß seine Sinne nicht an die Bewegung in der Luft und an die hierfür nötigen Manipulationen an seinem Flugzeug angepaßt sind, vielmehr an das Gehen und andere Bewegungen, bei denen wir uns auf den festen Boden stützen. Entsprechend der Einwirkung auf das Zusammenwirken der gesamten Muskulatur des Körpers spielen sich die vom Sehorgan ausgelösten Reflexe viel mehr als die bisher betrachteten im Bereiche des Bewußtseins ab oder werden wenigstens bewußt kontrolliert event. gehemmt. Es spielen hier auch erlernte, durch Übung allmählich immer sicherer und maschinenmäßiger gewordene Antworten der Muskulatur auf bestimmte optische Eindrücke eine große Rolle. Unbewußt ordnen sich, wenn der Blick auf ein Ziel gerichtet ist, alle Bewegungen derart, daß wir uns geradlinig auf das Ziel hinbewegen.

Jeder weiß, in welchem Maße durch plötzliche, schreckartige Empfindungen auslösende, Gesichtseindrücke unsere Körperstellung beeinflußt wird, wie wir beim Anblick eines Hindernisses automatisch den Körper zurückwerfen, um den Anprall unseres Körpers dagegen zu vermeiden. Derartige Schreckbewegungen des die Lenkstange führenden Fliegers können leicht zu gefährlichen Gleichgewichtsstörungen führen. Ähnlich kann die Reizung des Auges durch Staub und kleine Fremdkörper zu sehr bedenklichen Gleichgewichtsstörungen führen, darum ist der sichere Schutz des Auges, wie S. 8 schon erwähnt, von besonderer Bedeutung. — Durch die im Folgenden zu besprechenden Reflexe vom Ohrlabyrinth auf die Augenmuskeln kann die Orientierung in entscheidenden Momenten stark beeinträchtigt werden. Menschen, bei welchen die mit Schwindelgefühlen einhergehenden vom Ohrlabyrinth ausgelösten zuckenden Bewegungen der Augäpfel leicht auftreten, sind als Flieger besonderen Gefahren ausgesetzt.

C. Die mit dem Hörorgan assoziierten Lageempfindungen. Der statische Sinn.

Die Endigungen des achten Hirnnerven, welcher das Hören vermittelt, stehen im Inneren des Schläfenbeins des Menschen mit zwei verschiedenen Apparaten in Verbindung, der Schnecke und dem System des sogenannten Vorhofs (vestibulum).



Man unterscheidet daher 2 Endäste des 8. Hirnnerven, den Nervus cochlearis und den n. vestibularis.

Während man früher glaubte, beide Nerven seien Vermittler von Gehörempfindungen, haben die grundlegenden Untersuchungen von Goltz und im Anschluß an sie die Arbeiten von Mach, Breuer, Cyon, Kreidl, Ewald und vielen anderen Forschern dem Vorhof eine besondere Funktion zugewiesen. Er dient der Wahrnehmung von Lageänderungen und Bewegungen des Kopfes und vermittelt Bewegungen und Muskelspannungen, welche durch diese Lageänderungen erforderlich werden. Die durch diesen Apparat ausgelösten Vorgänge sind also ähnlicher Art, wie diejenigen, welche durch die Tastempfindung, das Muskelgefühl und das Sehen vermittelt werden, unterscheiden sich aber von diesen dadurch, daß sie unbewußt ablaufen. — Am besten werden wohl die Leistungen des Vestibularapparates durch die Bezeichnung desselben als Organ des statischen Sinnes ausgedrückt. Seine vollständige Ausschaltung hebt gewisse Bewegungen, welche zur Kompensation von Lageveränderungen ausgeführt werden, auf, sie macht sich aber auch in einer verminderten Spannung, einem verringerten „Tonus" der Muskulatur geltend. Labyrinthlose Tiere leisten deshalb jeder Verschiebung ihrer Gliedmaßen weniger Widerstand. An dem Einfluß des Labyrinths auf die Tätigkeit der Muskeln ist aber auch der Teil desselben, der die Schallwellen wahrnimmt, beteiligt, also der eigentliche Gehörapparat. Es sei nur an die halb unwillkürliche Auslösung von Bewegungen durch rythmische Musik erinnert. Marschmusik, Tanzmusik veranlaßt auch den ruhig sitzenden Menschen zu Bewegungen der Beine, der Finger, des Kopfes. — Der ermüdete Soldat wird durch die Marschmusik zu stärkerer Leistung befähigt. Ob es sich hierbei, wie Ewald annimmt, um eine Miterregung der Nervenendigungen des „Tonuslabyrinths" durch die Schallwellen handelt oder ob auch die eigentlichen Gehörswahrnehmungen im Gehirn reflektorisch auf die Zentren der Muskelinnervation wirken, ist mit unseren heutigen Mitteln nicht zu entscheiden. Es sei aber daran erinnert, daß die Entwicklung des Gehörapparates in der Tierreihe unverkennbar auf seinen nahen Zusammenhang mit dem Organ des statischen Sinnes hinweist. Letzteres ist in ähnlicher Weise wie bei den höheren Wirbeltieren schon bei vielen niederen Organismen entwickelt, bei Organismen, die keine Spur von Gehör, d. h. keinerlei Beeinflussung durch Schallwellen erkennen lassen. Ein auf die Stellung des Körpers fein reagierendes, jede Lageänderung scharf anzeigendes Organ ist natürlich für die im Wasser und in der Luft sich bewegenden Lebewesen viel bedeutungsvoller als für diejenigen, welche sich auf den festen Erdboden stützen. Bei letzteren gibt ja stets die Tastempfindung der Haut weitgehenden Aufschluß darüber, welche Körperteile den Boden berühren und die Muskelgefühle lassen jede Schwerpunktsverschiebung schnell erkennen und veranlassen die zu ihrer Korrektur nötige Muskeltätigkeit. Am evidentesten bedarf der im Wasser äquilibrierte Organismus eines besonderen Organs, das ihn über die Orientierung seines Körpers zur Richtung der Schwere, die ja auf denselben nicht mehr wirkt, unterrichtet. Beim Schwimmen kann man denn auch die Notwendigkeit des statischen Organs für die Erkennung der Körperstellung besonders deutlich nachweisen, und selbst der Mensch ist in der Hinsicht hilflos, wenn ihm die Vestibularorgane fehlen.

In seiner einfachsten Form besteht das statische Organ aus haarförmigen Nervenendigungen, welchen ein schweres Gebilde, ein Steinchen, (Statolith) aufgelagert ist. Da der Statolith stets in der Richtung der Schwerkraft auf die Nervenendigungen drückt, muß die Druckwirkung eine andere werden, sobald das Tier seine Lage gegenüber dem Lot verändert. Diese geänderte mechanische Wirkung auf die Nervenendigungen löst dann Bewegungen aus, welche auf die richtige Einstellung des Tieres hinzielen. — Besonders durchsichtig sind diese Reaktionen bei den frei im Meere schwimmenden Quallen. Engelmann und genauer noch Verworn[1]) wiesen nach, daß der früher mit dem Hören in Beziehung gebrachte und deshalb als Otolith bezeichnete, am aboralen Pole dieser Tiere gelegene Kalkkörper die Erhaltung des Gleichgewichts dadurch vermittelt, daß er die Bewegung der Flimmerhaare auf den sogenannten Schwimmplättchen, den flimmernden Rippen, dieser Tiere derart modifiziert, daß sie dem Körper die normale Lage mit der

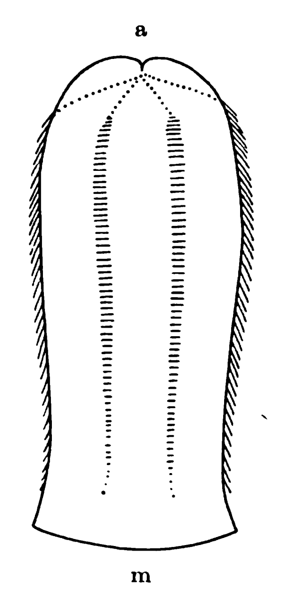


Fig. 1. Beroë ovata; Schema der Beziehung zwischen Statolithenapparat und flimmernden Rippen. m Mundpol; a aboraler Pol mit Statolithenapparat.



Fig. 2. Die Qualle, Beroë ovata, natürliche Größe.

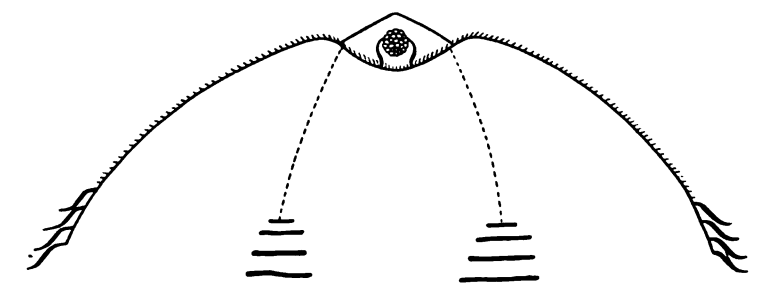


Fig. 3. Statolithenapparat der Beroë ovata und seine Beziehung zu den flimmernden Rippen.

Mundöffnung nach unten erteilen. Fig. 1 zeigt schematisch das Bild einer solchen Qualle, der Beroë ovata, Fig. 2 gibt den Anblick des Tieres am konservierten Präparat, Fig. 3 zeigt den Sinnespol mit dem von 4 Spitzen frei schwebend ge-

[1]) Max Verworn, Gleichgewicht und Otolithenorgan. Pflügers Arch. 50, 1891, S. 423 bis 472. Dieser Abhandlung sind auch die Figuren entnommen.

tragenen Statolithen bei starker Vergrößerung. Von jeder dieser Spitzen geht eine Leitungsbahn aus, welche die Bewegung von zwei der acht mit flimmernden Zilien besetzten Rippen, die den Körper des Tieres umspannen, reguliert. — Wird das Tier aus der Gleichgewichtslage gebracht, so drückt der Statolith stärker auf eine der vier ihn tragenden Spitzen, und das hat zur Folge, daß die zugehörigen Flimmerhaare sich lebhafter bewegen und alsbald das Tier wieder in die Gleichgewichtslage bringen. Schon ehe diese erreicht ist, beginnen auch die anderen Zilienreihen stärker zu arbeiten, offenbar weil jetzt auch die zu ihnen gehörigen Borsten einen entsprechenden Teil des Drucks des Statolithen aufnehmen.

Nach Entfernung des Statolithen, die bei manchen Arten durch Absaugen mit einem feinen Glasröhrchen bewirkt werden kann, resp. Zerstörung der den Druck aufnehmenden empfindlichen Spitzen mit Hilfe eines glühenden Drahtes hat die Qualle das Einstellungsvermögen verloren; die einzelnen Zilienreihen schlagen oft in verschiedenem Tempo, das Tier nimmt, aus der Gleichgewichtslage gebracht, diese entweder überhaupt nicht wieder an, oder nur ganz träge unter dem Einfluß der Schwere. Die ältere Annahme, daß der geschilderte Apparat mit dem Hören

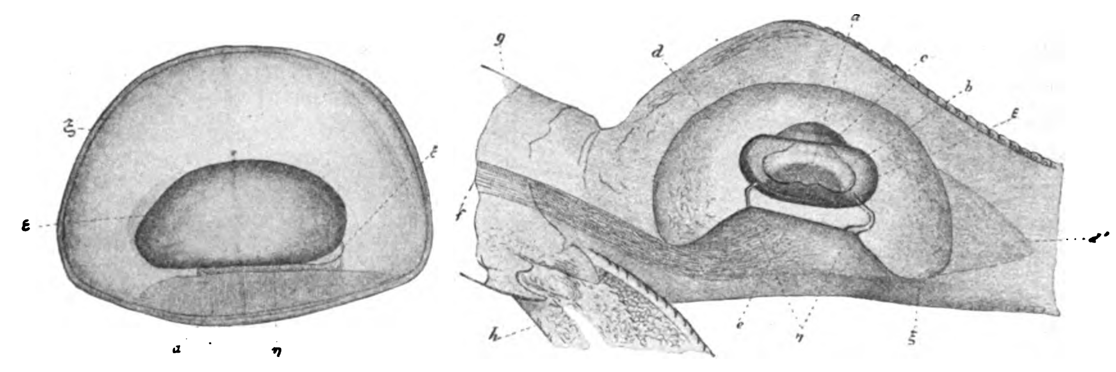


Fig. 4. Statolith auf bürstenartigen Zellausläufern.

Fig. 5. Statolith auf federnden Trägern.

in Beziehung stehe, war dadurch entstanden, daß ähnliche mit Nervenendigungen in Berührung stehende Steinchen sich im Gehörorgane des Menschen und der Wirbeltiere finden. Dort brachte man sie begreiflicherweise, aber wie wir noch erörtern werden, zu Unrecht mit dem Hören in Beziehung; sie dienen auch der Erhaltung des Körpergleichgewichts, der „geotropischen“ Einstellung des Körpers. — Zur Illustrierung der subtilen Anordnungen durch welche die Bewegungen der Statolithen auf die Empfindungsnerven übertragen werden, mögen noch die Abbildungen Fig. 4 und 5 dienen. Die erstere zeigt, wie der Statolith auf die bürstenartig angeordneten haarförmigen Ausläufer der Nervenendzellen wirkt, in anderen Fällen (Fig. 5) ruht der Statolith auf elastischen Füßchen, die durch jede Verschiebung, die er unter der Einwirkung der Schwere erleidet, verbogen werden. Für viele niedere Organismen, welche ein Statolithenorgan besitzen, ist mit Sicherheit nachgewiesen, daß sie überhaupt nicht auf akustische Reize, auf Schallwellen irgendwelcher Art reagieren. Für die Quallen hat Verworn diesen Beweis ge-

liefert. Andere Forscher[1]) zeigten dasselbe und zugleich die Bedeutung dieser Organe für die Erhaltung des Gleichgewichts an im Wasser lebenden Mollusken und Arthropoden; Jacques Loeb an Haifischen. Daß die Fische, welche alle einen sehr ausgebildeten Statocystenapparat haben, durchaus nicht hören, wurde entgegen verbreiteten älteren Anschauungen in jüngster Zeit von Kreidl[2]) durch sorgfältige Versuche festgestellt (vgl. übrigens S. 24). Auch der Umstand, daß Fische ebenso wie fast alle im Wasser lebenden Wirbellosen keinerlei Geräusche hervorbringen, macht es in hohem Maße unwahrscheinlich, daß sie hören. Die meisten Angaben über Hören dieser Tiere beruhen auf ungenauen Beobachtungen, indem entweder Gesichtseindrücke nicht sicher ausgeschaltet waren, oder mechanische Erschütterungen, etwa durch das Gehen von Menschen am Ufer, auf die Tiere wirkten. Die Tiere haben vielfach äußerst feine Berührungsempfindlichkeit und reagieren daher auf leichte Wellenbewegungen des Wassers. Bei den Fischen sind es besonders die Nervenendigungen der sogen. Seitenlinie, welche diese Reaktionen auf Erschütterung vermitteln. Daß die Grenzen zwischen diesen Empfindungen und dem eigentlichen Hören nicht scharf zu ziehen sind, liegt auf der Hand. Darum wird man auch die Entstehung des Gehörorgans in der Tierreihe phylogenetisch aus allmählicher Vervollkommnung der einfachen Empfindungsnerven und der statischen Organe ableiten können.

Kreidl verdanken wir auch sehr orginelle und beweisende Versuche über die Einwirkung der Statolithen auf die Richtungsbewegung der Krebse. In ähnlich präziser Weise wie bei den Quallen kann man auch die Bedeutung des früher als Gehörorgane angesprochenen Statolithenapparates bei verschiedenen Krebsarten demonstrieren. Es sind besonders diejenigen Krebse, welche frei im Wasser umherschwimmen, bei denen die Bedeutung dieses Apparates ersichtlich ist. Er liegt hier an sehr verschiedenen Stellen des Körpers, bald in einem oder dem anderen Fußpaar, bald in den vom Kopf ausgehenden Antennen, von denen ein andres Paar die Augen trägt. Auch insofern kommen hier bei verschiedenen Arten weitgehende Unterschiede vor, als die Statolithen bald vollkommen eingeschlossen in der Tiefe des Gewebes liegen, bald sehr oberflächlich in einer Einsenkung des Chitinmantels der Tiere. Im letzteren Falle werden sie bei jeder Häutung abgeworfen und neu ersetzt dadurch, daß die Tiere durch einen Willkürakt feinen Sand in die betreffenden Öffnungen hineinstopfen. Während der Zeit des Fehlens der Statolithen sind die Tiere sehr wenig zu Bewegungen geneigt, und dasselbe beobachten wir, wenn man ihnen zu irgend einer Zeit die Statolithen raubt, oder wo dies nicht möglich ist, das betreffende Glied abschneidet. Insbesondere findet man, daß die Tiere ohne Statolithen auch in abnormen Lagen schwimmen, und daß außerdem dabei ihre Bewegungen weniger kraftvoll sind als bei Vorhandensein dieser Organe. Die Bedeutung der Statolithen für die Kraft der Muskelbewegungen werden wir nachher

[1]) Yves Delage, Sur une fonction nouvelle des Otocystes comme organes d'orientation locomotrice. Arch. de Zoologie expér. et génér. II. Sér. t. 5, 1887. — Th. Beer, Über den angeblichen Gehörsinn und das angebliche Gehörorgan der Crustaceen. Pflügers Arch. 73, 1898, S. 1.

[2]) Kreidl, Über die Schallperception der Fische. Pflügers Arch. 61, 1895.

noch genauer erörtern. Hier möchte ich zunächst einen entscheidenden Beweis für den Einfluß dieser Organe auf die Körperbewegungen anführen, welcher Kreidl an solchen Krebsen gelungen ist, die sich die Statolithen nach jeder Häutung erneuern. Er setzte solche Krebse in Wasser, auf dessen Boden als einzige für die Krebse erreichbare sandartige Masse feiner Eisenfeilstaub sich befand. Sie verwandten dann diesen feinen Eisenstaub zum Ersatz der bei der Häutung verlorenen Statolithen. Hierauf erwiesen sich die Tiere in sehr merkwürdiger Weise in ihren Bewegungen beeinflußbar durch starke Magnete, die man in ihre Nähe brachte. Es erfolgten bei Annäherung des Magneten stets Bewegungen derart, als ob das Tier von dem Magneten angezogen würde. Von einer wirklichen Anziehung kann natürlich nicht die Rede sein, da die Eisenteilchen kaum ein Gewicht von wenigen Milligramm hatten, es also undenkbar ist, daß durch ihre Vermittlung das ganze schwere Tier in der Richtung des Magneten gezogen würde. Die Sache ist nur so verständlich, daß das Tier durch die vom Magneten bewirkte Bewegung der kleinen Statolithen in einer bestimmten Richtung veranlaßt wird, seine Muskeln derart zu innervieren, daß es in der gleichen Richtung sich bewegt. Damit kommen wir zu einer Erklärung der normalen Funktionen der Statolithen. Als träge Masse müssen dieselben ein wenig zurückbleiben, wenn das Tier rasch nach einer bestimmten Richtung geschoben wird, und dieses Zurückbleiben bedeutet dann einen Druck auf die Nervenendigungen in einer zur Bewegung des Tieres entgegengesetzten Richtung. Auf eine Verschiebung nach rechts aber wird das Tier im allgemeinen durch eine Eigenbewegung nach links antworten, um sich eben in seiner Lage zu behaupten. Es hat also die Anziehung der magnetischen Statolithen nach einer Seite denselben Effekt auf die Nervenendigungen wie eine rasche Verschiebung des ganzen Tierkörpers in der entgegengesetzten Richtung. Im Prinzip ist also die Regulation der Bewegung des Krebses durch die Statolithen ganz analog derjenigen, welche wir vorher bei den Quallen kennen gelernt haben.

Während die im Wasser lebenden Crustaceen ebenso wie die Fische und alle Vögel einen den beschriebenen Einrichtungen analogen Statolithenapparat haben, fehlt derselbe bei schwimmenden sowohl wie bei den meisten fliegenden Insekten. Dies dürfte damit zusammenhängen, daß die ersteren ausschließlich an der Oberfläche des Wassers schwimmen, und daß sie durch den Luftvorrat, den sie in ihren Tracheen und vor allen Dingen unter den Flügeldecken ständig beherbergen, in der normalen Stellung mechanisch erhalten werden. Es bedarf bei ihnen keinerlei Tätigkeit der muskulösen Apparate, um diese Stellung zu erhalten, weil infolge der Luftvorräte der Schwerpunkt des Körpers so tief liegt, daß ein Umkippen ganz unmöglich ist. Schwerer verständlich ist das Fehlen derartiger Apparate bei den fliegenden Insekten. Für sie müssen wir uns der Tatsache erinnern, daß die Tiere ja noch eine andere, sehr wirksame Kontrolle ihrer Körperlage in den Augen besitzen, und die Augen sind bekanntlich bei den Insekten in hoher Vollkommenheit ausgebildet. Wie sehr diese Tierklasse in ihren Bewegungen durch optische Eindrücke reguliert wird, zeigt uns ja die bekannte Anlockung der Insekten, speziell der in der Dämmerung fliegenden, durch das Licht, ihr Phototropismus. Im Gegensatz hierzu ist der Statolithenapparat bei den Vögeln sehr vollkommen entwickelt, und wir sehen ihn auch in ähnlicher Vollkommenheit bei den abwechselnd auf dem Lande



und im Wasser lebenden Amphibien. Gerade bei letzteren ist wegen des Lebens in zwei Medien die Aufgabe der Erhaltung des Körpergleichgewichts eine besonders komplizierte, und darum sehen wir auch hier alle ihr dienenden Apparate in hoher Ausbildung. Wenn wir die Anordnung der Statolithen mit ihren Funktionen in dieselbe Beziehung bringen wie sie bei den Krebsen experimentell dargetan ist, kommen wir zu der Erkenntnis, daß bei den höheren Wirbeltieren und beim Menschen einerseits die Richtung von vorn nach hinten und andererseits die von oben nach unten, also im Sinne der Schwerewirkung durch Statolithen kontrolliert wird. Im sogenannten Sacculus und Utrikulus des Ohrlabyrinths des Menschen haben wir zwei mit Nervenendfasern versehene Zellgruppen, welche in der Wand eines mit Flüssigkeit erfüllten Hohlraums liegen und in diesen Hohlraum lange, wimperartige Fortsätze hineinsenden. Auf diesen Fortsätzen ruhen die Statolithen, und zwar der eine so, daß er bei der Vorwärtsbewegung des Tieres gegen die Haare angedrückt, bei der Rückwärtsbewegung von ihnen entfernt wird, während der andere so angeordnet ist, daß er beim Emporsteigen des Körpers gegen die Haare gedrückt, beim Niedersenken desselben abgehoben wird. Wir werden entsprechend dieser Anordnung dem Statolithenorgan des Menschen eine Reaktion auf die Verschiebungen des Körpers in der horizontalen Richtung einerseits, in der perpendikulären andererseits zuschreiben. Daß die Muskulatur auf derartige Bewegungen automatisch reagiert, indem wir etwa beim plötzlichen Abwärtssinken die Arme emporstrecken, um einen Halt zu suchen, beim plötzlichen Emporgehobenwerden entgegengesetzte Schutzbewegungen machen, kann jeder auf einem schnell sich bewegenden Fahrstuhl beobachten und zwar speziell in Momenten, wo sich derselbe in Bewegung setzt oder zum Stillstand kommt. Die gleichmäßig andauernde fallende oder steigende Bewegung wird von uns nicht empfunden und kann ja auch nach der eben entwickelten Mechanik des Statolithenapparates nicht empfunden werden. Ähnlich steht es um die Bewegung vor- und rückwärts in horizontaler Richtung. Auch hier empfinden wir den Eintritt der Bewegung und ihren Stillstand sowie rasche Beschleunigung oder Verlangsamung, nicht aber gleichmäßig andauernde schnelle Bewegung. Das kann man im Eisenbahnzug bei geschlossenen Augen leicht beobachten. Bei der Beurteilung des Bewegtwerdens und beim Zustandekommen der dadurch bedingten Muskelreflexe spielt nun aber, wie wir vorher schon erörterten, auch das Auge eine große Rolle. Davon kann man sich besonders deutlich überzeugen bei jenen auf Jahrmärkten öfters vorgeführten Einrichtungen, bei denen die Gegenstände um den ruhig sitzenden Menschen gedreht werden. Der Anblick dieser Bewegung erweckt die Vorstellung, daß wir selbst in Bewegung seien. Dabei entsteht ein Konflikt zwischen den durch den Statolithenapparat bewirkten Eindrücken, welche ja dem ruhenden Zustande unseres eigenen Körpers entsprechen, und den durch das Auge übermittelten Empfindungen, welche uns das Vorhandensein einer Bewegung kund geben. Aus diesem Konflikt der sonst unter normalen Verhältnissen harmonischen Eindrücke, resultieren jene unbehaglichen Empfindungen, jene Muskelschwäche und Unfähigkeit zu Bewegungen, welche wir als Schwindelerscheinungen kennen. Ähnliche Eindrücke kommen zustande, wenn wir uns etwa in einem Eisenbahnzuge befinden und ein danebenstehender Zug sich plötzlich zu bewegen beginnt. Auch dann erweckt der optische Eindruck die Vorstellung, als würden wir bewegt und zwar in entgegen-



gesetzter Richtung von der, in der der beobachtete Zug fährt, während der Statolithenapparat keinen konformen Eindruck vermittelt. Auch hieraus resultiert das unbehagliche Gefühl der disharmonischen Empfindungen, welches wir nicht haben, wenn der Zug, in welchem wir sitzen, wirklich in Bewegung gerät.

Es gibt aber noch eine zweite Art Schwindel, die uns viel geläufiger ist, das ist derjenige, welcher durch Rotation des Körpers eintritt. Aus dem Bau des Statolithen-

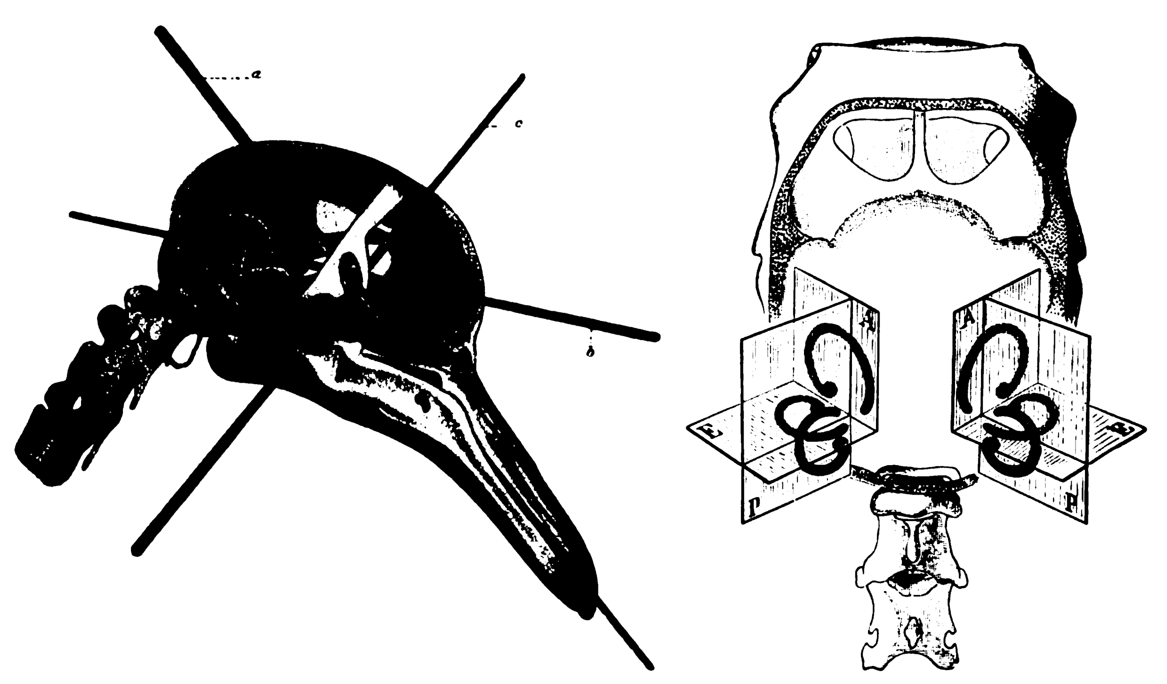


Fig. 6. Bogengänge der Taube, in ihrer Lage im Schädel freipräpariert. Die Stäbe a, b, c markieren die drei Hauptachsen des Schädels. (Aus Ewald, Physiolog. Unters.)

Fig. 7. Zur Veranschaulichung der Ebenen, nach welchen die halbzirkelförmigen Kanäle orientiert sind. (Aus Ewald.)

apparates ergibt sich ohne weiteres, daß derselbe hierbei keine Rolle spielen kann. Alle Wirbeltiere besitzen aber im Innern des Schläfenbeins neben dem Statocystenapparat noch eine zweite sehr merkwürdige Einrichtung, bei deren Anblick man ohne weiteres auf die Idee kommen muß, daß dieselbe etwas mit den Rotationen des Kopfes zu tun haben müsse. Das sind die halbzirkelförmigen Kanäle. Fig. 6 nach Ewald gibt eine vergrößerte Abbildung ihrer Lage im Schädel der Taube, bei der sie, wie bei allen Vögeln, besonders gut ausgebildet und relativ groß sind. Es handelt sich um drei etwas mehr als einen Halbkreisbogen beschreibende Kanäle, daher der Name: „halbzirkelförmige Kanäle". Diese Kanäle sind in drei aufeinander senkrechten Ebenen angeordnet. Die Anordnung zeigt halbschematisch Fig. 7. Der eine E, als horizontaler Kanal oder Canalis externus bezeichnet, liegt in der Querebene des Kopfes, der zweite als oberer vorderer A bezeichnet, in der Stirnebene, der dritte oder der obere hintere P in der Ebene der Pfeilnaht, d. h. in der vom Gesicht zum Hinterhaupt sich erstreckenden Richtung. Früher, als man den ganzen Statolithenapparat ebenso wie die halbzirkelförmigen Kanäle noch als Teile des Gehörorgans ansah,

brachte man diese merkwürdige Lagerung der Kanäle mit der Fähigkeit, die Richtung, von der der Schall kommt, zu erkennen, in Beziehung. Diese Annahme erweist sich aber bei genauerer Analyse der Verhältnisse als unmöglich. Die Schallwellen werden, wie wir mit Sicherheit dartun können, vom Trommelfell aufgenommen und durch den Apparat der Gehörknöchelchen auf die Membran des sogenannten ovalen Fensters, welches die Paukenhöhle vom innern Ohr trennt, übertragen Für diese Übertragung ist es ganz gleichgültig, aus welcher Richtung die Luftwelle stammt, welche zum Ohr gelangt. Denn diese Luftwellen können nie auf andere Weise Schallempfindungen erzeugen als dadurch, daß sie das Trommelfell in Schwingungen versetzen. Demgemäß können nur die äußeren Teile des Ohrs, die Ohrmuscheln und die Anfänge des äußeren Gehörganges mit ihren Empfindungsnerven durch die Richtung des Schalles beeinflußt werden. Sie allein sind es in der Tat, welche uns über die Richtung, aus der die Schallwellen unser Ohr treffen, einigen, und beim Menschen wenigstens, keinen sehr vollkommenen Aufschluß geben. Wesentlich gefördert wird die Orientierung durch die Beweglichkeit des Ohrtrichters, wie wir sie z. B. in exquisiter Weise beim Pferde beobachten. Hier muß natürlich bei der Bewegung des Trichters der Schall lauter gehört werden, in dem Maße, wie die Öffnung des Trichters der Richtung zugewendet ist, von welcher der Schall kommt. Von der enormen Wirkung dieser Einstellung des Trichters nach der Schallrichtung kann man sich sehr leicht durch Verwendung eines einfachen Schalltrichters aus zusammengerolltem Papier selbst überzeugen.

Da wir uns also eine Beziehung der halbzirkelförmigen Kanäle zum Hören nicht vorstellen können, werden wir uns nach einer anderen Bedeutung derselben umsehen müssen, und da liegt es nahe, sie mit irgend welchen Bewegungsempfindungen resp. mit der Orientierung in den drei Dimensionen des Raumes in Beziehung zu bringen. Ihr anatomischer Bau entspricht durchaus dieser Auffassung. Sie sind mit einer wässrigen Flüssigkeit gefüllt und haben an einem Ende eine Gruppe von mit Haaren versehenen Nervenendzellen, von denen wir wohl annehmen können, daß sie auf feine Bewegung der Flüssigkeit oder auch schon auf Druckänderungen in derselben reagieren. Denken wir uns einen Menschen oder auch nur seinen Kopf rasch von rechts nach links oder umgekehrt bewegt, so wird in dem horizontal liegenden Kanal die Flüssigkeit vermöge ihrer Trägheit ein wenig hinter dieser Bewegung zurückbleiben, woraus ein mechanischer Effekt auf die in der Flüssigkeit schwimmenden Nervenendhaare resultiert. Das würde ein Mittel zur Wahrnehmung der Drehbewegung sein. Wie der horizontale Kanal eine Bewegung um die Längsachse des stehenden Körpers wahrnehmen muß, so der vordere senkrechte eine solche um die Querachse des Kopfes, also eine Nickbewegung, und der hintere senkrechte eine solche um die Sagittalachse des Kopfes. Wir müßten demgemäß erwarten, daß die als Reaktion auf derartige Verschiebungen des Kopfes ausgeführten Bewegungen von den halbzirkelförmigen Kanälen ausgelöst werden. Diese Annahme ist einer experimentellen Prüfung zugänglich. Man hat zunächst durch verhältnismäßig rohe Versuche feststellen können, daß der Apparat der halbzirkelförmigen Kanäle Einfluß auf die Bewegungen hat. Wenn man bei einem Tier das innere Ohr freilegt und die halbzirkelförmigen Kanäle verletzt, treten alsbald sehr komplizierte und gewaltsame Bewegungen des Kopfes und

zum Teil auch des übrigen Tierkörpers ein. Diese Bewegungen halten oft längere Zeit nach der Verletzung an. Auch wenn man das Ohrlabyrinth einer Seite, etwa bei einer Taube, gänzlich zerstört, sieht man das Tier stunden- und tagelang in verdrehten Haltungen des Kopfes verharren. Es ist aber der experimentellen Geschicklichkeit von Professor Ewald in Straßburg gelungen, über diese rohen Andeutungen der Beziehungen der halbzirkelförmigen Kanäle zur Kopfhaltung und zur Bewegung des Tierkörpers wesentlich hinaus zu gelangen. Er hat beispielsweise an einem der halbzirkelförmigen Kanäle nach seiner Bloßlegung eine feine Vorrichtung angelagert, welche er als pneumatischen Hammer bezeichnet. Es handelt sich um einen feinen hohlen Stahlzylinder von etwas über 1 mm Durchmesser, welcher in einer Messingplatte befestigt ist und mit dieser derart auf den Schädel einer Taube, deren Labyrinth bloßgelegt ist, befestigt wird, daß der im Zylinder bewegliche Stahldraht, wenn er vorgestoßen wird, gerade auf einen der halbzirkelförmigen Kanäle drückt. Ein solcher Stoß muß natürlich eine starke, plötzliche Erschütterung der Innenflüssigkeit und damit Reizung der Nervenendigungen zur Folge haben. Damit man die Reaktionen ganz unbeeinflußt beobachten kann, wird die Taube, nachdem der pneumatische Hammer an einen ihrer Bogengänge befestigt ist, frei unter einen Drahtkäfig gestellt. Von dem Hammer führt ein langer, dünner Kautschukschlauch zu einer kleinen Druckkapsel, welche der Experimentator in der Hand hält, und mit deren Hilfe er den Hammer gegen den Bogengang anschlagen lassen kann. Wir beschreiben nun einen der Versuche mit Ewalds eigenen Worten: „Der pneumatische Hammer befindet sich über dem rechten Canalis externus, zwischen ihm und dem glatten Ende des Kanals ist eine Plombe eingesetzt." (Diese Plombe bewirkt, daß die Flüssigkeit nicht mehr nach dem nervenlosen Ende ausweichen kann, vielmehr der Druck des Hammers auf den häutigen Kanal nur eine in der Richtung nach dem Nervenende hinziehende Druckwelle erzeugt.) „Läßt man nun den Hammer anschlagen, ohne ihm eine Rückbewegung zu gestatten, so erfolgt eine starke bis 90 % betragende Drehung des Kopfes nach links genau in der Ebene des horizontalen Kanals. Zu dieser Drehung gesellt sich niemals irgend eine andere Bewegung des Kopfes hinzu, auch habe ich nicht ein einziges Mal gesehen, daß die Bewegung in umgekehrter Richtung erfolgt wäre. Gewöhnlich geht nach dieser Bewegung der Kopf unmittelbar darauf in die Normalstellung zurück. Wir ziehen dann den Hammer zurück und erhalten nun eine Kopfdrehung nach rechts, welche ebenfalls genau in der Ebene des Kanals abläuft, aber ungleich schwächer als die erste Bewegung ist. Wir drücken nach beliebiger Zeit wieder und erhalten die starke Bewegung nach links, wir lassen den Ballon nach beliebiger Pause wieder los und beobachten die schwache Drehung nach rechts, kurz immer mit größter Präzision das gleiche Resultat[1])."

Die volle Bedeutung des Labyrinths für die Bewegungen und die Gleichgewichtserhaltung können wir aber doch nur würdigen, wenn wir noch einige weitere Beobachtungen anreihen.

Beim Menschen entstehen bei Entzündungen im Bereiche des Ohrlabyrinths die heftigsten Störungen der Körperhaltung, verbunden mit starkem Schwindel,

[1]) Richard Ewald, Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des Nervus octavus, Wiesbaden 1892.



Erscheinungen, welche den Ohrenärzten als „Menièresche Krankheit" geläufig sind. Dieselben Erscheinungen treten bei Tieren auf, welchen man die Ohrlabyrinthe mechanisch verletzt oder gänzlich zerstört. Im letzteren Falle ist es die Wundreizung der Nervenstümpfe des die Labyrinthempfindungen zum Hirn leitenden achten Hirnnerven, welche dieselben Empfindungen erzeugt, wie sie normal bei rasch wechselnden anormalen Körperstellungen entstehen. Diese Empfindungen lösen dann gewaltsame Körperbewegungen und forcierte Stellungen des Kopfes und der Extremitäten aus, wie sie zur Wiedergewinnung der richtigen Körperhaltung dienlich wären, wenn die nur empfundenen Verlagerungen des Kopfes und des übrigen Körpers in Wirklichkeit beständen. Die anormalen Haltungen des Kopfes, welche längere Zeit nach der Operation aufhören können, treten wesentlich stärker auf, wenn die Augen verschlossen sind, so daß ihre Kontrolle über die Haltung verloren geht. Fig. 8, dem Buche Ewalds S. 12 entnommen, zeigt die Kopfhaltung einer Taube, die durch eine übergezogene Kappe am Sehen verhindert wird. Sehend zeigte das Tier keine merkbaren Abweichungen der Kopfhaltung.



Fig. 8. Kopfhaltung einer labyrinthlosen Taube, wenn die Orientierung durch das Auge ausgeschlossen ist.

Goltz [1]), welcher zuerst die Idee begründete, daß wir es in dem Ohrlabyrinth mit einem Organ zu tun haben, welches die Empfindung der Kopf- und damit der Körperstellung vermittelt, gibt auch einen sehr interessanten Versuch an, welcher zeigt, daß die Körperbewegungen auch bei erhaltenem Labyrinth nicht mehr völlig reguliert werden können, sobald die Stellung des Kopfes abnorm ist und infolgedessen die Lageveränderungen des Körpers andere Verschiebungen der Statolithen und der die halbzirkelförmigen Kanäle füllenden Flüssigkeit erzeugen als in der Norm. Goltz nähte einer Taube den Kopf genau in derselben verdrehten Stellung vor der Brust fest, welche ein anderes Tier, dessen Bogengänge teilweise zerstört waren, dauernd innehielt. Der Kopf wurde nach rechts soweit herumgedreht, bis der Scheitel dem Erdboden zugewendet war und das Hinterhaupt die Brust berührte. Seine Haut wurde mit der der Brust fest vernäht. Setzte man das Tier, an dem diese chirurgisch geringfügige Operation ausgeführt war, auf eine Stuhllehne, so fiel es sofort nach hinten herab, als man den Stuhl nur wenig neigte. Es war ganz unfähig zu fliegen; ließ man es frei in der Luft los, so stürzte es unter lebhaftem Flügelschlag senkrecht auf den Fußboden. Es werden offenbar die Flügelmuskeln nicht mehr in ihren kräftigen Bewegungen so koordiniert, und die Haltung des Rumpfes entsprechend reguliert, wie es für die Behauptung des Gleichgewichtes beim Fluge nötig ist. Die Störungen waren hier wohl deshalb

[1]) Fr. Goltz, Über die physiologische Bedeutung der Bogengänge des Ohrlabyrinths. Pflügers Arch. III, 172, 1870.

besonders groß, weil die abnorme Stellung des Kopfes auch den anderen Regulator der Körperhaltung, die Augen verdrehte, die Gesichtseindrücke nicht in ihrer normalen Beziehung zu den Bewegungen des Tieres zustande kommen konnten, so daß auch vom Auge her unzweckmäßige Bewegungsimpulse dem Hirn zugeleitet wurden. — So ist es auch verständlich, daß das Tier auch auf dem Erdboden keine Neigung zeigte, von selbst seinen Standort zu verlassen. Wurde das Tier durch Reize zu Bewegungen veranlaßt, so machte es einige Schritte rückwärts.

Die Bedeutung, welche die vom Labyrinth ausgehenden Empfindungen für unsere Raumvorstellungen haben, hat besonders Cyon [1]) durch sehr genaue Prüfung der Raumorientierung im Dunkeln nachgewiesen. — Um die Genauigkeit mit der wir über die 3 Raumkoordinaten im Dunkeln orientiert sind, zu prüfen, ließ er die Versuchspersonen an einer senkrecht aufgestellten Tafel senkrechte und horizontale Striche ziehen; auf einer zweiten horizontalen Tafel mußten dann einander kreuzende Striche in frontaler und sagittaler Richtung, d. h. von links nach rechts und von vorn nach hinten ausgeführt werden. Diese Aufgabe wurde von den Versuchspersonen mit großer Präzision ausgeführt, so lange sie ihren Kopf in normaler Stellung hielten. Jede Neigung des Kopfes nach vorn oder hinten, nach rechts oder links, und ebenso jede Drehung des Kopfes um die Längsachse des Körpers hatte Fehler in der Zeichnung der Linien zur Folge, welche zwar individuell verschieden groß waren, aber für jede abnorme Haltung des Kopfes gesetzmäßig bei allen Personen in derselben Richtung erfolgten. Dies zeigt evident, daß das Sinnesorgan, welches uns im Dunkeln eine genaue Raumorientierung ermöglicht, im Kopfe gelegen ist und durch jede Lageänderung des Kopfes beeinflußt wird. — Sehr interessant und die nahen Beziehungen des Raumsinnes zum Hören erläuternd, ist der Befund, daß nach intensiven lange dauernden Höreindrücken, z. B. nach Hören eines Konzerts, die Fehler wesentlich vergrößert werden. — Stärker als nach Hören von Musik werden aber die Fehler nach eigenem Violinspiel des Versuchsobjektes. Hier kommt vielleicht noch ein anderes bedeutungsvolles Moment in Betracht, das ist die lange andauernde einseitige Neigung des Kopfes beim Halten der Violine. Das Labyrinth stellt sich wahrscheinlich auf diese lange eingenommene Haltung ein und macht deshalb größere Fehler als wenn die normale Stellung dauernd innegehalten wäre. Der Befund ist analog dem Verhalten der Taube mit in abnormer Lage fixiertem Kopf. Daß die andauernde Linksneigung des Kopfes beim Violinspiel in der Tat den Fehler bei der nachfolgenden Prüfung des Raumsinnes vergrößert hat, geht daraus hervor, daß der Fehler nach dem Musizieren bei Linksneigung des Kopfes 28°, bei Rechtsneigung aber 36° betrug. Hatte keine Musik eingewirkt, so betrug die Winkelabweichung gleichmäßig bei Links- und Rechtsneigung 1—2°. Die Beziehung der Schalleindrücke zum Vestibularapparat ist aber in jüngster Zeit noch durch eine eigenartige Versuchsanordnung von Piper demonstriert worden, und zwar bei Fischen, bei denen man nach den vorher (S. 17) kurz besprochenen Beobachtungen ein gänzliches Fehlen von Gehöreindrücken angenommen hatte. — Piper benutzte zu seinen Studien die Tatsache, daß jeder Nerv und auch jede Sinneszelle bei der

---

[1]) E. von Cyon, Pflügers Arch. 71 S. 72, 79 S. 211, 90 S. 585, 94 S. 139, 96 S. 486, 118 S. 525.



Tätigkeit ein modifiziertes elektromotorisches Verhalten zeigt. Die tätige Zelle verhält sich negativ im Vergleich zur ruhenden, und diese Negativität dauert genau so lange wie der aktive Zustand. Wir besitzen heutzutage in dem von Einthoven [1]) in die physiologische Technik eingeführten Saitengalvonometer ein ausgezeichnetes Instrument, um diese äußerst geringen und flüchtigen Potentialschwankungen zu registrieren. Das Saitengalvanometer besteht aus einem äußerst dünnen versilberten Quarzfaden von wenigen Tausendstel Millimeter Dicke, der in einem starken magnetischen Felde ausgespannt ist. Sobald der schwächste galvanische Strom diesen feinen Leiter durchfließt, wird er aus seiner Ruhelage abgelenkt und zwar nach entgegen gesetzter Seite je nach der Richtung des Stromes. Die winzigen Ablenkungen des durch eine kräftige Bogenlampe beleuchteten Fadens werden mit Hilfe einer Mikroskoplinse auf gleichmäßig vor dem punktförmigen Bilde der Fadenmitte vorbeibewegtem photographischem Papier als eine Kurve registriert. Die Empfindlichkeit des Instruments ist so groß, daß man damit nicht nur den Ablauf des Erregungvorganges, welcher bei momentaner Reizung einer Stelle eines Nervenstamms sich über diesen mit einer Geschwindigkeit von etwa 30 m pro Sekunde fortpflanzt, genau messen kann, sondern auch die flüchtige Änderung des Potentials in der Netzhaut des Auges bei momentaner Belichtung desselben. — Mit Hilfe dieses Apparates hat Piper die Frage behandelt, ob Schall erregend auf das Ohrlabyrinth der Fische einwirkt. Er halbierte den Kopf eines Hechtes von oben nach unten, entfernte das Hirn und legte von 2 zum Saitengalvanometer führenden Elektroden die eine an den auf der Schnittfläche zutage tretenden Otolithen, die andere 1— 1½ cm von dieser Stelle entfernt an einen indifferenten Punkt. So oft die von einer Membranpfeife erzeugten Schallwellen dem Kopfstück durch das Wasser zugeleitet wurden, entstand ein Strom im Sinne des Negativwerdens der Gegend des Otolithen. Der Strom trat 0,02 Sekunden nach Ertönen des Schalles auf und bestand mit allmählich abnehmender Intensität, so lange die Pfeife tönte, 0,02—0,04 Sekunden nach Abklingen des Tones hörte der Strom auf. — Mechanische Erschütterung des Wassers rief einen solchen Aktionsstrom nicht hervor. Leiser Druck auf den Otolithen oder mechanische Verschiebung desselben auf den Nervenzellen erzeugte nur unregelmäßige Aktionsströme von wechselnder Richtung. Verfasser hält durch diese Versuche die Schallerregbarkeit des Fischlabyrinths für sicher bewiesen, wenn er auch seine Bedeutung für die Raumorientierung des Tieres durchaus anerkennt. Er meint, daß die „Raumsinnfunktionen des Labyrinths in ähnlichem Sinne der Aufgabe der Schallperzeption angegliedert sind, wie im Gebiete des Gesichtsinnes sich zur prinzipiellen Aufgabe der Lichtperzeption die der optischen Orientierung fügt". — Es muß weiterer Forschung vorbehalten bleiben, den Widerspruch zu klären zwischen diesen Befunden und dem vergeblichen Bemühen von Beer, Kreidl und anderen Forschern irgend ein sicheres Zeichen von Hören bei Fischen nachzuweisen.

Angesichts des Widerspruchs, der zwischen den Befunden Pipers, aus welchen dieser ein Hören der Fische ableitete, und den negativen Ergebnissen aller vorsichtigen Versuche, bei Fischen Reaktionen auf Schalleindrücke nachzuweisen, besteht, bleibt

---

[1]) W. Einthoven, Ein neues Galvanometer. Onderzoekungen in het Physiolog. Laboratorium te Leiden 1904, S. 168.



nach wie vor der Raumsinn die wesentlichste Leistung des sogenannten Gehörorgans der Fische. Die Beziehung des Raumsinns zum Labyrinth beim Menschen wird aber noch durch einige Versuche illustriert, welche wir bisher nicht besprochen haben. Neben Breuer, dessen Versuche wir schon oben erwähnten, hat besonders der Physiker Mach die Reaktionen, welche beim Menschen vom Ohrlabyrinth ausgehen, speziell die Erscheinungen des Schwindels bei rascher Rotation des Körpers genau studiert. Ihm, wie allen anderen Forschern auf diesem Gebiete, fielen die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen schneller Körperrotation und abnormen zuckenden Bewegungen der Augäpfel, dem sogenannten Nystagmus auf. Diese Bewegungen kann man, so weit sie bei offenen Augen erfolgen, darauf beziehen, daß der Mensch versucht, die einmal fixierten Punkte des Raumes mit dem Blick festzuhalten, daß dies aber infolge der schnellen Rotation nicht gelingt und nun immer neue ruckweise Einstellungen auf Fixpunkte stattfinden. Der Nystagmus wird aber auch bei geschlossenen Augen beobachtet, man kann die ruckweisen Bewegungen der Augäpfel durch die geschlossenen Lider hindurch fühlen. Das beweist, daß die Bewegung der Augen noch von einer anderen Stelle des Körpers als von der eigenen Netzhaut beeinflußt wird und diese Stelle ist wiederum das Organ der Raumorientierung, das Ohrlabyrinth. Der Zusammenhang der Augenbewegungen mit Reizen, welche das Ohrlabyrinth treffen, konnte in allen Versuchen, bei welchen Operationen, Verletzungen oder Reizungen des Ohrlabyrinths ausgeführt wurden, nachgewiesen werden. Speziell in dem mehrfach zitierten Buche von Ewald finden sich zahlreiche hierher gehörige Beobachtungen und Experimente. Von besonderer Bedeutung aber zur Beurteilung dieser Erscheinungen ist das, was man bei Erkrankungen des Ohrlabyrinths beobachtet. Bei Taubstummen beruht der Verlust des Gehörs in der größeren Zahl der Fälle auf Entzündungen und Eiterungen, welche das Ohrlabyrinth in früheren Lebensjahren, meist im Anschluß an Scharlach und andere Infektionskrankheiten, betroffen haben. Die anatomische Untersuchung solcher Taubstummen ergibt in einem großen Teil der Fälle vollständige Zerstörung des Labyrinths, d. h. sowohl der Gehörschnecke, in welcher unzweifelhaft die eigentlichen Tonempfindungen zustande kommen, als auch des Otolithenapparates und der halbzirkelförmigen Kanäle. In einer kleineren Zahl der Fälle ist nur die Schnecke zerstört, während die letztgenannten Organe noch mehr oder weniger funktionsfähig erscheinen. Diesen differenten anatomischen Befunden entspricht nun das Verhalten des Raumsinnes der Taubstummen. In einem ähnlich großen Prozentsatz derselben, wie nach den anatomischen Untersuchungen sich eine vollständige Zerstörung des Labyrinths findet, fehlt der vorher von uns erörterte Einfluß desselben auf die Augenbewegungen sowohl, wie auf die Empfindung der richtigen Lage des Körpers. Wenn ein derartiger Taubstummer auf einem Rotationsapparate in schnelle Umdrehungen versetzt wird, fallen alle nystagmusartigen Bewegungen seiner Augäpfel weg, sobald die Augen geschlossen sind. Diese Bewegungen der Augen beruhen also auf nervösen, vom Labyrinth ausgehenden Impulsen, welche die Stellung des Auges in die den Lageempfindungen des Labyrinths entsprechende Blickrichtung einzustellen streben. In der Tat ist nun bei zerstörtem Labyrinth das Auge das einzige Sinnesorgan, welches abgesehen von den Muskelempfindungen über die Lage im Raume und über passive Bewegungen des Körpers orientiert. Das tritt am eklatantesten in einer Reihe von



Erfahrungen über das Verhalten Taubstummer im Wasser zutage. Wenn ein normaler Mensch beim Baden taucht und seinen Körper unter Wasser in irgendwelche von der senkrechten abweichende Stellung bringt, so ist er doch in jedem Augenblick über unten und oben orientiert. Es gelingt ihm fast unbewußt, mit wenigen Schwimmstößen wieder zur Oberfläche des Wassers zu gelangen. Anders der Taubstumme, dessen Labyrinth zerstört ist. Er ist, sobald er unter Wasser aufhört zu sehen, vollkommen desorientiert und darum in höchster Gefahr zu ertrinken. Es beruht dies darauf, daß ja im Wasser der Einfluß der Schwere auf den Gesamtkörper so gut wie vollkommen aufgehoben ist, und deshalb die Richtung, in der die Schwere wirkt, d. h. die Richtung oben und unten nur noch durch einen Apparat erkannt werden kann, der auch im Wasser durch die Schwere beeinflußt wird, und das ist eben der Otolithenapparat unseres Labyrinths. Der Flieger in der Luft ist keineswegs in gleichem Maße auf den Otolithenapparat angewiesen; er hat ja, abgesehen von der Orientierung durch das Auge auch im Druckgefühl der Haut ein wesentliches Hilfsmittel, um jede Schwankung seiner Körperstellung zur Schwerlinie zu erkennen. Nicht mit Unrecht sagen erfahrene Flieger, daß sie mit Hilfe ihres Gesäßes jede Schwankung ihres Flugzeuges mit großer Sicherheit erkennen. Da ja der Drucksinn unserer Haut, wie wir schon früher sahen, auf kleine Änderungen des belastenden Druckes mit großer Feinheit reagiert, kommen von hier aus kleine Schwankungen der Körperstellung zum Bewußtsein. Es besteht aber keinesfalls eine so feine Verbindung der die Muskeln innervierenden nervösen Zentren mit der Hautsensibilität gerade der Sitzgegend, wie sie etwa mit derjenigen der Fußsohlen vorhanden ist. Die Fußsohlen werden ständig beim Gehen und bei wechselnden Stellungen des Körpers als Organe zur Beurteilung der Beziehungen des Menschen zur Unterlage, zum Boden, benutzt und darum sind die Regulationsmechanismen, welche auf jede Ungleichheit in der Belastung der Fußsohlen durch zweckmäßige kompensierende Muskelbewegungen reagieren, viel vollkommener ausgebildet als jene, welche etwa von der Haut des Gesäßes ausgehen. Da alle diese Regulationen, sowohl die von der Haut, wie die vom Ohrlabyrinth ausgehenden, mehr oder weniger unbewußt erfolgen, kann auch der Flieger, wenn er automatisch zweckmäßige Regulationsbewegungen bei Schwankungen seines Sitzes ausführt, nicht entscheiden, wieviel von diesen Bewegungen vom Ohrlabyrinth, wieviel von der Hautsensibilität her ausgelöst wird. Auf alle Fälle erscheint es in hohem Maße gewagt, wenn ein Mensch, dessen Otolithenapparat nicht normal fungiert, die Leitung eines Flugzeuges versucht. Es fehlt ihm jedenfalls ein wichtiges Hilfsmittel, welches die schnelle und halbautomatische Reaktion auf jede Schwankung seines Sitzes vermittelt. Diese Warnung gilt nicht nur gegenüber Menschen, bei denen der Otolithenapparat gänzlich zerstört ist, er gilt in viel höherem Maße gegenüber geringen Störungen dieses Apparates, wie sie bei Entzündungen des Mittelohrs, zuweilen schon bei Verschluß der Ohrtrompete auftreten und sich in leichten Schwindelerscheinungen äußern, die besonders bei Druckschwankungen im Mittelohr, also etwa beim Nießen, beim Schnauben der Nase und ähnlichen Vorgängen bemerkbar werden. Die durch derartige relativ unbedeutende Störungen verminderte Leistungsfähigkeit wird besonders da hervortreten, wo die Steuerung des Flugzeuges möglichst den normalen Kompensationsbewegungen, welche wir

instinktiv bei Lageänderung unseres Körpers ausführen, angepaßt ist, und eine solche Anpassung wird mit Recht bei allen neueren Apparaten durchgeführt. Man sieht ja noch bei manchen Flugzeugen den Steuerapparat unsymmetrisch, etwa zur rechten Hand angeordnet. Das halte ich für recht bedenklich, weil es zu Störungen der Gleichgewichtslage des Fliegers gerade in kritischen Momenten Anlaß geben kann. Die Bedeutung der möglichst automatisch, unseren gewohnten Reflexen entsprechend auszuführenden Steuerbewegungen hat J. R. Ewald in einem sehr anregenden Aufsatz in der Frankfurter Zeitung vom 19. Oktober 1909 auseinandergesetzt. — Hier finden sich auch entsprechende Hinweise auf die mit der Schwierigkeit der mechanischen Leistungen wachsende Ausbildung des Goltzschen Sinnesorgans in der Tierreihe. „Wir finden bei statisch besonders geschickten Tieren die Bogengänge größer, gleichmäßiger in ihrer Rundung und mehr zu einzelnen selbständig ausgebildeten Ringen entwickelt. Das Eichhörnchen hat in diesem Sinne besser ausgebildete Bogengänge als das Kaninchen, der Affe bessere als der Hund, der Fisch bessere als die Schlange. Die besten haben die Vögel.“ Unter diesen wieder fand Ewald das vollkommenste Organ bei den Schwalben, dann kommen Tauben und Raben, weit zurück stand das Huhn und noch mehr die Gans. — Im Hinblick auf die Bedeutung dieser Dinge für den Steuerapparat des Flugzeugs wollen wir noch einmal einen Blick auf den nervösen Regulationsmechanismus des fliegenden Vogels werfen. Wenn auch das Gehirn und die ihm ständig vom Labyrinth, vom Auge und von der gesamten empfindenden Körperoberfläche zugeleiteten Erregungen für die reguläre Ausführung des Fluges von entscheidender Bedeutung sind, so wird doch diesen höheren Zentren ein Teil ihrer Arbeit durch das verlängerte Mark und Rückenmark abgenommen. Besonders lehrreich sind in der Hinsicht die Versuche, welche W. Trendelenburg über die Bewegungsstörungen anstellte, die bei Tauben nach Durchschneidung der hinteren Rückenmarkwurzeln auftreten. — Die Bedeutung der durch die hinteren Wurzeln dem Zentrum zugeleiteten Reize (Empfindungen) für die koordinierten Bewegungen ist ja genügend bekannt aus den Störungen des Ganges des Menschen bei der Tabes dorsalis (vgl. S. 11) und aus den analogen Störungen, welche höhere und niedere Tiere nach Durchschneidung der hinteren Rückenmarkwurzeln in der Bewegung der von den zugehörigen vorderen Wurzeln versorgten Muskeln zeigen. W. Trendelenburg [1]) hat die hierher gehörigen Störungen des Vogelflugs untersucht. Nach beiderseitiger Durchschneidung der Hinterwurzeln der Flügelnerven ist das Flugvermögen dauernd aufgehoben, dagegen ist es nach einseitiger Durchschneidung dieser Wurzeln so gut wie absolut intakt. Hierin besteht ein auffälliger Gegensatz zwischen Fliegen und Gehen: Letzteres ist nämlich auch bei einseitiger Störung der zugehörigen Hinterwurzeln hochgradig gestört. Die Ataxie ist zuweilen nach einseitiger Durchschneidung so stark, daß das Gehen unmöglich wird, wie es regelmäßig bei beiderseitiger Durchschneidung der Fall ist. Der Unterschied erklärt sich daraus, daß die Flügelbewegungen beider Körperseiten stets symmetrisch erfolgen, die Beinbewegungen dagegen alternierend, so daß die Bewegung jedes Beines für sich durch die Empfindungen kontrolliert werden muß. —

[1]) Trendelenburg, Über die Bewegung der Vögel nach Durchschneidung hinterer Rückenmarkwurzeln. Arch. f. (Anat. u.) Phys. 1906, und weitere Untersuchungen u. s. w. ebenda Suppl. S. 231. Ferner 1908, S. 201 und Ergebn. d. Physiologie 10, S. 454.



Trendelenburg hat auch den Mechanismus der Beeinflussung der Flug- und Gangbewegungen durch die den Muskeln zugeordneten sensiblen Nerven genauer analysiert. Er konnte zeigen, daß die Spannungen der Muskeln, Sehnen und Gelenke, bis zu einem gewissen Grade auch die Verlagerungen der Haut, welche mit einer extremen Stellung des Flügels oder des Beines beim Gehen verbunden sind, durch Vermittlung der zentripetalen Nerven die Innervation der Muskeln, welche diese Stellung herbeigeführt haben, hemmen und die Tätigkeit der Antagonisten in Gang bringen. Der Mechanismus entspricht durchaus dem, welchen wir durch Hering und Breuer schon längst für die Regulation der Atmung kennen. Hier erregt jede Ausweitung der Lungen, gleichgültig ob sie durch eine normale Weitung des Brustkastens oder durch Aufblasen der Lungen bei eröffneter Brusthöhle erfolgt, die nervösen Zentren der Ausatmung durch Vermittlung der dem zehnten Hirnnerven angehörenden Empfindungsnerven, während jede Entleerung der Lunge andere Fasern desselben Nervenstammes erregt, welche dem Zentrum Impulse zu einer Betätigung der die Brust erweiternden Einatmungsmuskeln zuleiten. Man hat diesen nervösen Mechanismus die Selbststeuerung der Atmung genannt, indem man ihn mit dem Steuermechanismus einer Dampfmaschine verglich, welcher den Eintritt des Dampfes in den Zylinder und damit die Bewegungsrichtung des Kolbens umstellt, sobald der Kolben an einer gewissen Stelle seiner Bahn angekommen ist.

So vollzieht sich also die Sukzession der Flügelschläge in richtiger Ordnung durch die Reflexbahnen des Rückenmarks allein, sobald der erste Impuls dazu vom Hirn gegeben ist. Aber diese Sukzession kann jederzeit vom Hirn her unterbrochen und in ihrem Ablauf geändert werden, ebenso wie normal der erste Impuls von ihm ausgeht. Auf diese vom Hirn ausgehenden Reize und Hemmungen haben nun die das Gleichgewicht des Körpers kontrollierenden Sinnesorgane, das Auge und das Labyrinth den entscheidensten Einfluß. Fehlt die Erregung des Auges in absoluter Dunkelheit und damit die Möglichkeit der Kontrolle von Hindernissen bei der Bewegung, so wird der Rückenmarksreflex gehemmt, seine Bahn blockiert und das gleiche gilt, wenn die Gleichgewichtsorgane im Labyrinth ausgeschaltet sind. — Ewald hat durch interessante Versuche seines Schülers Emanuel die Beziehungen der genannten höheren Zentren zu den Muskelreflexen, welche sich im Rückenmark abspielen, dargelegt. Emanuels [1]) Versuchsanordnung war folgende:

Ein Frosch war in senkrechter Stellung, mit den Füßen nach unten, an ein Stativ befestigt. Beide Füße waren mit Schreibhebeln verbunden, welche jede Lageveränderung, speziell also jede zuckende Verkürzung des Beines auf eine rotierende Trommel aufschrieben. Wenn man nun plötzlich an den Hebeln angebrachte Gewichte herabfallen ließ und dadurch eine Zerrung an den Beinen ausübte, so erfolgte im Anschluß an diese eine Verkürzung der Beine, welche zum Teil elastische Rückschwingung der gedehnten Muskeln über die Gleichgewichstlage war, zum Teil aber auf einer durch die Zerrung ausgelösten, in gesetzmäßiger Weise ablaufenden Zusammenziehung der Beinmuskeln beruhte. Man konnte diese Muskeltätigkeit von der reinen elastischen Schwingung leicht dadurch trennen, daß man denselben Ver-

---

[1]) Emanuel, Über die Wirkung der Labyrinthe und des Thalamus opticus auf die Zugkurve des Frosches. Pflügers Arch. Bd. 99, S. 363.



such nach Tötung des Tieres und Zerstörung seines Nervensystems ausführte. In diesem Fall kam natürlich nur die elastische Schwingung zum Ausdruck. Das Gleiche wurde beobachtet, wenn die Empfindungsnerven eines Beines durchschnitten waren, aber merkwürdigerweise auch bei intakten Empfindungsnerven der Beine, wenn die Ohrlabyrinthe zerstört waren, oder die Abschnitte des Zentralnervensystems, mit welchen diese in Verbindung stehen. Da bei der Versuchsanordnung von Emanuel eine direkte Reizung des Ohrlabyrinths durch Lageveränderung ausgeschlossen war, ergibt sich aus dem Versuch die Tatsache, daß vom Ohrlabyrinth ständig Einflüsse ausgehen, welche das Verhalten der Muskeln gegenüber Empfindungsreizen, ihren Spannungszustand (Tonus) beeinflussen. Eine Tatsache, die Ewald übrigens schon aus einer ganzen Reihe Beobachtungen an labyrinthlosen Tieren gefolgert hat. Für uns ist die Erkenntnis von besonderer Wichtigkeit, daß beim Versagen der Labyrinthe auch die Regulation der Muskelbewegungen von der Haut und vielleicht von den Nervenendigungen in den Sehnen und Gelenken wesentlich gestört ist, ein Grund mehr, allen Störungen der Labyrinthfunktion beim Flieger besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

IV. Bedeutung der Ballongase für die Gesundheit des Luftfahrers.

Unter den Gefahren der Luftschiffahrt spielt die giftige Wirkung der Ballongase eine gewisse Rolle. Während der Fahrt strömt ja bei starkem Aufstieg und bei Besonnung des Freiballons Gas in großen Mengen aus dem Füllansatz aus und sammelt sich in der Umgebung des Ballons, da ja dieser mit den Luftströmungen sich bewegt, eine Reinigung der Luft durch Wind also faktisch nicht stattfindet. Bei Verwendung von Leuchtgas dokumentiert sich die Ansammlung der Gase im Korb deutlich durch den Geruch. Die Frage, ob hierbei gelegentlich durch das giftige Kohlenoxyd Schädigungen der Balloninsassen zustande kommen können, ist nicht absolut zu verneinen. Namentlich wenn man sich in raschem Aufstieg der Höhe von 4000 bis 6000 m nähert, wo der Sauerstoffmangel fühlbar wird, können schon ganz geringe Mengen von Kohlenoxyd gefährlich werden. Diese Erwägung sollte namentlich von der Verwendung des wegen seiner Leichtigkeit und Billigkeit sehr verlockenden Wassergases (CO und H_2 zu annähernd gleichen Teilen) abhalten. Wenn Leuchtgas zur Erreichung der gewollten Höhe nicht ausreicht, sollte man stets reinen Wasserstoff nehmen.

Viel akuter als die Gefahr durch Ausströmen von Ballongas während der Fahrt ist eine andere, welche daraus resultiert, daß die bei der Füllung beschäftigten Personen zuweilen in die Lage kommen, das Ballongas fast rein oder in sehr hohen Konzentrationen einzuatmen. Würde es sich um reinen Wasserstoff handeln, so könnte dadurch nur eine vorübergehende Erstickung mit Ohnmacht zustande kommen, welche kaum üble Folgen hinterlassen würde, wenn der Verunglückte schnell an die frische Luft gebracht wird. Man muß aber bei der Füllung von Ballons daran denken, daß die Ohnmacht bei Atmung reinen oder mit wenig Luft gemischten Wasserstoffs

eintritt, ohne daß ein Gefühl von Atemnot oder sonstige subjektive Warnungen sich bemerkbar machen. Es sollte darum kein Arbeiter am Füllansatz beschäftigt sein, ohne durch eine in der Nähe befindliche Person ständig überwacht zu werden. Bei Füllung mit Leuchtgas ist die Gefahr größer, weil das Kohlenoxyd, das im Leuchtgas je nach seiner Herkunft in Mengen von 5—10 % und noch mehr (im sogen. Wassergas bis nahezu 50 %) enthalten ist, sich mit dem roten Blutfarbstoff zu Kohlenoxydhämoglobin verbindet und dadurch die Sauerstoffversorgung der Organe noch längere Zeit unmöglich macht, nachdem der Verunglückte aus dem Bereich der giftigen Gase entfernt ist. Bekanntlich ist der rote Blutfarbstoff, das Hämoglobin, der Träger des Sauerstoffs aus den Lungen zu den Geweben und Organen des Körpers. 1 g Hämoglobin bindet 1,3 ccm O_2, so daß 100 ccm Blut mit durchschnittlich 14 g Hämoglobin über 18 ccm Sauerstoff transportieren. Ohne die Affinität des Hämoglobins würden dagegen 100 ccm Blut auf dem Wege der physikalischen Absorption nur 0,4 ccm Sauerstoff aufnehmen können. Da das Blut bei jedem Kreislauf etwa $\frac{1}{3}$ seines Sauerstoffvorrats, rund 6 ccm abgeben muß, um den Bedarf der Gewebe zu decken, ist die physikalisch absorbierte Menge dieses Gases für den Unterhalt des Lebens absolut ungenügend. Die Versorgung der Gewebe mit Sauerstoff vollzieht sich dadurch, daß das Sauerstoffhämoglobin nach später genauer zu besprechenden Gesetzen in einer sauerstoffarmen Flüssigkeit zerfällt und um so mehr von seinem Sauerstoff abgibt, je niedriger der Sauerstoffgehalt der Flüssigkeit ist. Infolgedessen reguliert der Sauerstoffverbrauch der Organe die Zufuhr; je mehr verbraucht wird, desto mehr gibt das Hämoglobin ab. Andererseits nimmt das Hämoglobin um so weniger Sauerstoff auf, je niedriger der Gehalt der Lungenluft an diesem Gase ist, oder je verdünnter diese Luft beim Aufsteigen in größere Höhen wird. Die Bedeutung dieses Umstandes für die Grenzen, bis zu welchen wir in der Atmosphäre ungestraft emporsteigen können, ist noch besonders zu erörtern. Hier haben wir uns nur der Tatsache zu erinnern, daß das Kohlenoxydgas eine etwa 150 mal stärkere Affinität zum Hämoglobin hat als der Sauerstoff. Infolgedessen wird, wenn gleiche Mengen Kohlenoxyd und Sauerstoff eingeatmet werden, nur $^1/_{150}$ des Hämoglobins mit Sauerstoff sich verbinden, der ganze Rest mit Kohlenoxyd. Praktisch verhält sich also das Blut bei Atmung eines derartigen Gemisches so, als ob es überhaupt nur den physikalisch absorbierten Sauerstoff enthielte, und der Atmende erstickt ebenso wie in einer sauerstofffreien Atmosphäre. Die Sauerstoffbindung des Hämoglobin sinkt aber schon unter das unentbehrliche Minimum von 6 %, wenn die geatmete Luft neben den 15 % Sauerstoff, welche sich normal in den Lungenbläschen finden, nur 0,3 % Kohlenoxyd enthält.

Das an den Blutfarbstoff gebundene Kohlenoxyd entweicht wieder bei Atmung einer davon vollkommen freien Luft. Diese Regeneration des Blutes kann sich aber nur langsam vollziehen, weil zunächst nach der Entfernung des Verunglückten aus der kohlenoxydhaltigen Atmosphäre die Lungenluft noch längere Zeit das giftige Gas enthält und auch immer neue Mengen desselben aus dem Blute in diese gelangen. Nun genügt aber ein Fehlen des Sauerstoffs während drei Minuten, um die nervösen Zentra der Atmung zu lähmen. Man wird deshalb bei den durch Kohlenoxyd Verunglückten durch das bloße Verbringen in frische Luft selten eine Wiederbelebung erzielen können. Man muß die gelähmte

Atmung durch künstliche Einpumpung von Luft in die Luftwege ersetzen, die Methode der künstlichen Atmung anwenden, welche im wesentlichen darauf hinausläuft, daß man in regelmäßigem Rhytmus den Brustkasten kräftig komprimiert und dann mit dem Druck wieder nachläßt. Diese Methode sollte daher von allen Menschen, welche sich mit der Füllung von Ballons beschäftigen, oder die Aufsicht bei diesem Geschäft führen, geübt sein. Die Art der Handhabung der künstlichen Atmung läßt sich durch einige Abbildungen besser als durch viele Worte illustrieren. Im Prinzip handelt es sich entweder darum, durch kräftigen Druck auf eine möglichst

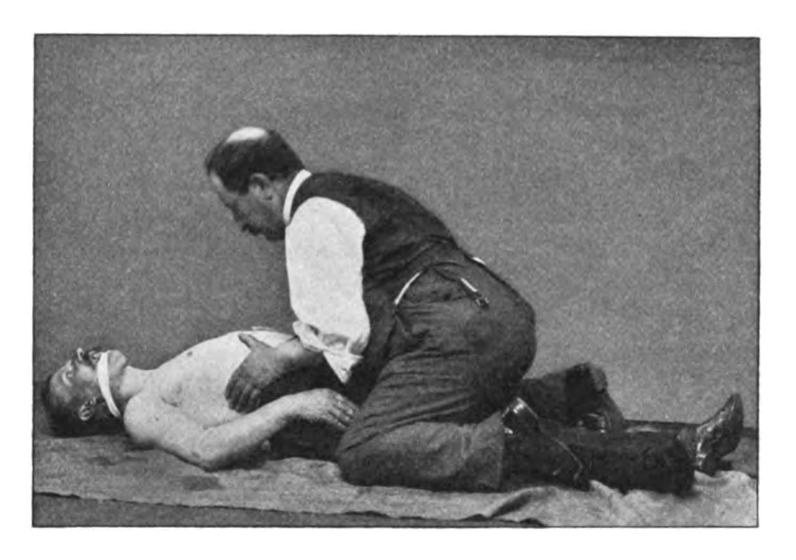


Fig. 9. Künstliche Atmung nach Marshall Hall. Zusammendrücken des Brustkorbes.

ausgedehnte Partie des vorderen Brustumfangs Luft aus den Lungen auszutreiben und die Wiederfüllung dann der eigenen Elastizität der Rippen zu überlassen, oder darum, die von den Armen zum Brustkasten gehenden Muskeln als Zugstränge zur Hebung der Rippen und damit zur Erweiterung des Brustkastens zu benützen. Die erstere Methode zeigt Fig. 9 in der Phase des kräftigen Zusammendrückens des Brustkastens. Die Zunge ist vorgezogen und mit ihrer Spitze durch ein umgeschlungenes Tuch gegen die Lippe befestigt[1]). Die letztere Methode, welche von Silvester herrührt, wird zweckmäßig in der Art ausgeführt, daß man bei dem auf dem Rücken liegenden Patienten beide Arme über den Kopf hebt und in dieser Stellung einen kräftigen Zug nach oben und hinten an den Armen ausübt. Fig. 10. Es sind dann wesentlich die vom Oberarm zu den Rippen ziehenden, die vordere Begrenzung der Achselhöhle bildenden breiten Brustmuskeln, welche die Rippen emporziehen. Nach so bewirkter Dehnung des Brustkastens führt man die Arme nach abwärts, legt die Vorderarme über die unteren Brustpartien und drückt auf sie und die Oberarme derart, daß der Brustkasten stark verengt wird. Fig. 11. Man kann auf diese Weise, wie Messungen von Loewy und George Meyer ergeben

[1]) Diese 3 Abbildungen sind mit gütiger Erlaubnis von Prof. George Meyer dem im Auftrage des Kgl. Ministeriums des Innern herausgegebenen Nothelferbuch entnommen.

haben, mit jeder Ein- und Ausatmungsbewegung zwei Liter und mehr Luft fördern, das ist so viel, wie der Mensch bei ziemlich angestrengter Arbeit mit jedem Atemzuge ventiliert. Die Anwendung der künstlichen Atmung wird, wenn die Kohlenoxyd-

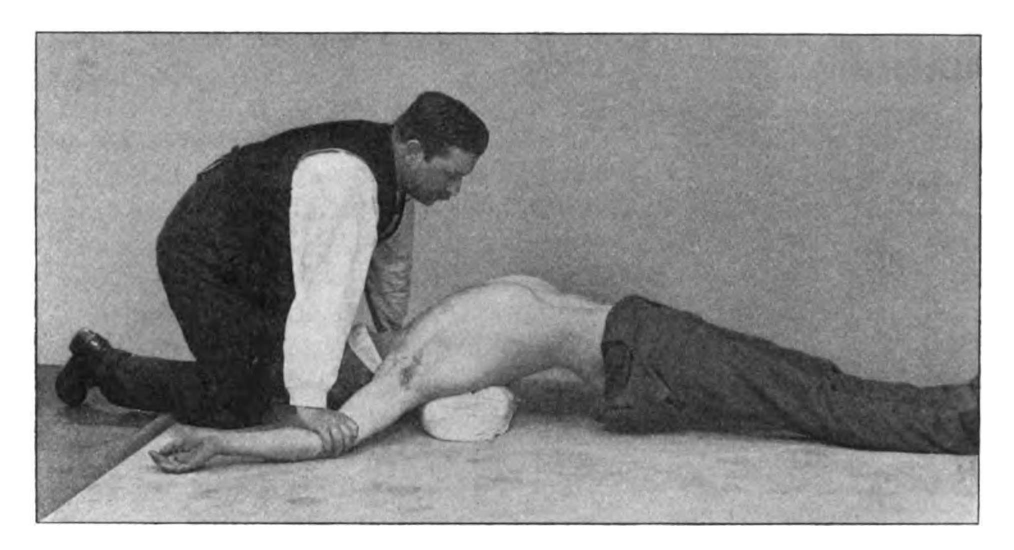


Fig. 10. Künstliche Atmung nach Silvester. Einatmung.

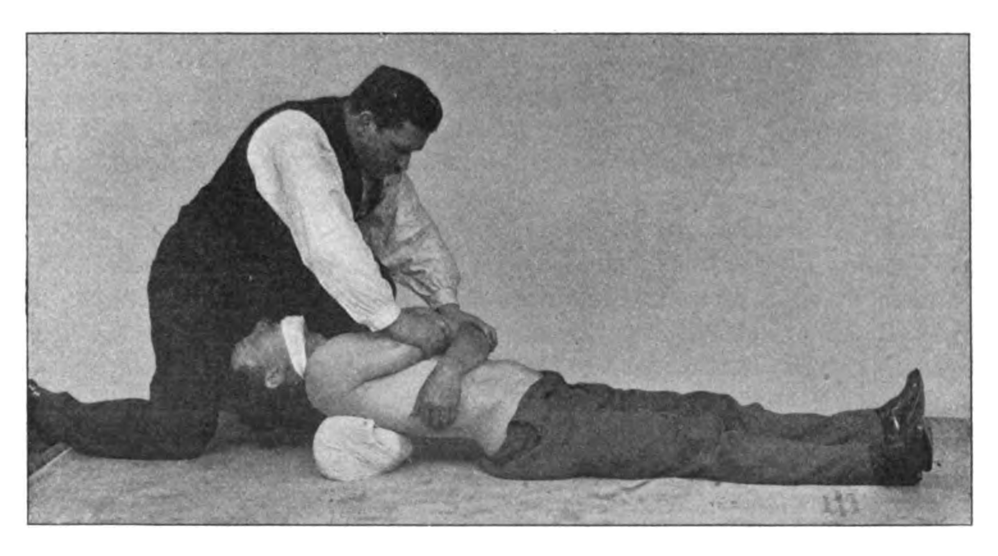


Fig. 11. Künstliche Atmung nach Silvester. Ausatmung.

vergiftung nicht zu lange gedauert hat, zur Wiederbelebung ausreichen. Wenn aber das Blut fast vollständig mit Kohlenoxyd gesättigt ist, erweist es sich oft als nötig, reinen Sauerstoff zuzuführen. Hierzu sollte man ja auf den Ballonfüllplätzen eingerichtet sein, weil es zweckmäßig ist, daß Bomben mit komprimiertem Sauerstoff zur Mitgabe an die Luftschiffer für Hochfahrten bereit gehalten werden. Wenn eine derartige Bombe bereits mit einer Inhalationsmaske versehen ist, wird

man diese vor Mund und Nase halten und durch Zuströmen von Sauerstoff bei fest schließender Maske eine kräftige Ausdehnung des Brustkastens bewirken, dann für einen Moment den Sauerstoffstrom abschließen, die Maske entfernen, worauf die eigene Elastizität des Brustkastens die Luft aus den Lungen entweichen läßt. In dieser Weise kann man, indem man je etwa 3 bis 5 Sekunden lang Sauerstoff einströmen läßt und dann ebenso lange Zeit Mund und Nase frei gibt, eine sehr wirksame künstliche Atmung bewirken. Die belebende Wirkung einer solchen Prozedur übertrifft aus zwei Gründen die einfache künstliche Atmung in hohem Maße. Einmal absorbiert das Blut aus dem zur Einatmung gebrachten reinen Sauerstoff auf rein physikalischem Wege etwa fünfmal so viel Sauerstoff wie aus der Luft, d. h. 100 ccm Blut nehmen statt 0,4—0,5 ccm über 2 ccm Sauerstoff auf. Außerdem aber wird durch den dichteren Sauerstoff das Kohlenoxyd in fünfmal stärkerem Maße aus seiner Verbindung mit dem Hämoglobin verdrängt und dadurch die Entgiftung beschleunigt. Während eine Mischung von Luft mit 0,3 % Kohlenoxyd bei längerer Einatmung schon tödlich wirkt, kann eine Mischung von reinem Sauerstoff mit ca. 1½ % Kohlenoxyd noch ohne Gefahr geatmet werden, wie Haldane durch Versuche an Tieren und Menschen bewiesen hat.

Wenn man bei Verunglückten auf die eine oder die andere Art künstliche Atmung einleitet, darf man nicht vergessen, darauf zu achten, daß die Luft wirklich ungehindert in die Lungen eintreten kann. Bei Bewußtlosen fällt die Zunge leicht der Schwere nach rückwärts gegen den Kehldeckel und verstopft dadurch den Eingang des Kehlkopfs. In solchen Fällen muß man die Zunge nach vorn ziehen und event., indem man die Spitze mit einem Tuch umwickelt, dauernd vorgezogen halten; vgl. Fig. 9—11. Oft erweist es sich als nützlich, an der Zunge rhythmisch im normalen Tempo der Atmung einen kräftigen Zug nach vorn zu üben. Ein solcher Zug hat auch bei Bewußtlosen, wenn nur die Ohnmacht nicht allzu tief ist, eine reflektorische Einatmung zur Folge.

Bei Wasserstoffüllung des Ballons kommen aber noch andere Gefahren in Betracht, weil dieses Gas in der Regel nicht rein ist. Bekanntlich wurde Wasserstoff früher ausschließlich durch Einwirkung verdünnter Schwefelsäure auf Zink oder Eisen erzeugt. In beiden Fällen entsteht reines Wasserstoffgas, wenn die Ingredienzien keine anderen Metalloide enthalten. Nun enthält aber die Schwefelsäure von ihrer Darstellung her fast immer Spuren arseniger Säure, und dann bildet sich neben Wasserstoff das ungemein giftige Arsenwasserstoffgas. Eine zweite Quelle dieses giftigen Gases sind die selten fehlenden Beimengungen von Arsen zum Eisen und häufig auch zum Zink. Nicht ganz so häufig wie Beimengungen von Arsenwasserstoff hat man auch solche von Antimonwasserstoff und Selenwasserstoff in dem entwickelten Gase beobachtet. Durch Arsenwasserstoff sind bereits eine ganze Anzahl von Todesfällen und schweren Erkrankungen bei Menschen, die bei der Füllung von Ballons tätig waren, festgestellt worden, und diese Fälle haben zu einer eingehenden Untersuchung der in Betracht kommenden Verhältnisse durch eine wissenschaftliche Kommission des französischen Kriegsministeriums geführt. Ausführliches über die Ergebnisse findet sich in einer Monographie von Chevalier und Chaignot: „Les intoxications par des gaz des ballons", Paris 1904. Nach den in großem Umfange ausgeführten Tierversuchen erstreckt sich die Giftigkeit des Arsenwasserstoffs



in erster Linie auf die roten Blutkörperchen, ist also insofern mit der Giftwirkung des Kohlenoxyds einigermaßen verwandt. Aber es bildet sich nicht eine leicht wieder in normales Hämoglobin zurückzuführende Verbindung, vielmehr kommt es zu einer mehr oder weniger weitgehenden Zerstörung der roten Blutkörperchen, aus denen das Hämoglobin in die Blutflüssigkeit übertritt, um dann weiter zu dem für die Sauerstoffaufnahme unfähigen Methämoglobin oxydiert zu werden. Letzteres wird durch die Nieren ausgeschieden und erzeugt hier entzündliche Veränderungen, deren höhere Grade zu einer vollständigen Unterdrückung der Harnsekretion und im Anschluß daran zum Tode führen. In den Tierversuchen der Verfasser erwiesen sich Mengen von Arsenwasserstoff bis zu 20 ccm verteilt in 2000 l Atemluft noch nicht lebensgefährlich. Bei größeren Mengen trat zunächst Erbrechen ein, dann jene Störungen in der Blutbeschaffenheit und als deren Folgen innerhalb einiger Tage Gelbsucht, Harnverhaltung und schließlich Tod. Es bedarf keiner ungewöhnlich großen Verunreinigung der Schwefelsäure mit arseniger Säure, um dem entwickelten Wasserstoff hochgradige Giftigkeit zu erteilen. Ebenso kommen die hierzu nötigen Arsenmengen in Eisenfeilspänen ziemlich häufig vor. Die Verfasser erklären einen Gehalt von 0,1 g Arsen auf 1 kg konzentrierter Schwefelsäure als die äußerste Menge, welche noch ohne große Gefahr zulässig ist. Im allgemeinen frei von arseniger Säure ist die nach dem Kontaktverfahren hergestellte Schwefelsäure, und diese sollte man zur Herstellung von Ballongasen verwenden. Viel sicherer ist es aber natürlich, sich ausschließlich des elektrolytischen Wasserstoffs zu bedienen, wie er in neuerer Zeit ja faktisch in Bitterfeld und an anderen Orten bei Füllung der Ballons zur Verwendung kommt. Bei diesem Gas ist die Beimengung der vorher erwähnten giftigen Wasserstoffverbindungen absolut ausgeschlossen. — Eine Vergiftungsgefahr durch Ballongas kommt gelegentlich auch bei der Landung zustande. v. Schroetter (Hygiene der Aeronautik 1912, S. 45) erwähnt einen solchen Unfall, der ihn selbst im Juni 1902 betroffen hatte: „Ich hatte mich besonders mit dem Freimachen des Ballons beschäftigt, der noch ziemliche Mengen von Gas enthielt; plötzlich traten unter heftigstem Gürtelschmerze im Bereich der unteren Brustapertur (vielleicht Krampf des Diaphragmas) Vernichtungsgefühle ohne Übelkeit ein, und ich sank zu Boden; der Zustand dauerte etwa 2—3 Minuten.“ v. Schroetter berichtet ferner von einem Todesfall bei einem jungen Manne, der sich bemühte, einen zwischen Tannen verfangenen Ballon frei zu machen. Er wurde durch die ausströmenden Gase betäubt, verwickelte sich in das Netzwerk und erstickte so.

V. Einwirkung größerer Höhen auf Kreislauf und Atmung.

Seit den ersten Versuchen von Otto von Guericke und R. Boyle mit der Luftpumpe weiß man, daß es eine gewisse Verdünnung der Luft gibt, welche mit dem Leben der Organismen unverträglich ist. Dementsprechend muß man erwarten, daß die nach oben zunehmende Luftverdünnung der Höhe, welche man im Luftballon erreichen kann, eine Grenze setzt. Diese Grenze ist mehrfach erreicht und überschritten worden. Am meisten besprochen in der Hinsicht ist das traurige Ende der Hochfahrt von Tissandier mit Sivel und Crocé-Spinelli, welche von Paris

aus im Jahre 1871 mit dem Ballon „Zenith" eine Höhe von 8600 m erreichten. In dieser Höhe wurden alle drei Insassen des Ballons bewußtlos, Tissandier hatte in 7450 m Höhe bei 300 mm Luftdruck in benommenem Zustande die letzten Notizen gemacht. Sivel und Crocé-Spinelli erwachten aus tiefer Ohnmacht, als der Ballon von 8000 m wieder auf 7400 m gefallen war, warfen in halb betäubtem Zustand reichlich Ballast, was ein neues Steigen bis zum Maximum von 8600 m zur Folge hatte. Hierbei trat der Tod der beiden Luftfahrer ein. Als der Ballon im Fallen wieder ein Niveau von 6000 m erreicht hatte, erwachte Tissandier aus der Ohnmacht, um zu konstatieren, daß seine beiden Gefährten tot waren. Gerade an diese Fahrt knüpften sich die weitgehendsten Erörterungen über die Ursache derartiger Todesfälle und der Unverträglichkeit größerer Höhen mit dem Leben des Menschen und der Tiere. Seit man den Sauerstoff und seine Bedeutung für das Leben erkannt hatte, wurde die Frage diskutiert, ob der Tod durch Luftverdünnung auf mechanische Ursache, Verminderung des enormen Druckes der Luft, welcher auf die Oberfläche des Körpers wirkt, zu beziehen sei, oder auf den Mangel an Sauerstoff in der eingeatmeten Luft. Kurz vor der verhängnisvollen Fahrt des „Zenith" hatte Paul Bert, der berühmte französische Physiologe, die Wirkung der Änderung des Luftdrucks auf den Menschen in so umfassender Weise experimentell durchgearbeitet, wie dies bis dahin auch nicht entfernt geschehen war. Er machte vor allem vergleichende Versuche in der Art, daß er einerseits bei unverändertem Luftdruck den Sauerstoffgehalt durch Beimengung von Stickstoff oder einem anderen indifferenten Gas herabsetzte, andererseits eine sehr starke Luftdruckverminderung erzeugte, wobei aber der Sauerstoffgehalt dadurch relativ hoch gehalten wurde, daß er nicht die gewöhnliche Atmosphäre, sondern eine Atmosphäre von nahezu reinem Sauerstoffgas der Verdünnung unterwarf. Es zeigte sich bei diesen Versuchen unzweifelhaft, daß die Dichte des Sauerstoffes in der geatmeten Luft maßgebend für die Lebensgrenze ist. Wenn die geatmete Luft aus reinem Sauerstoff bestand, konnte man mit der Verdünnung erheblich weiter gehen als bei atmosphärischer Luft. Die schließlich eintretenden Krankheitserscheinungen waren in beiden Fällen die gleichen. Die Tiere wurden schwach, taumelten, fielen um, zeigten zuweilen Krämpfe, und wenn der Druck noch weiter erniedrigt wurde, trat der Tod ein. Beim genauen quantitativen Studium der Wirkung verminderten Luftdrucks, wie es noch vor kurzem Rozendaal unter Leitung von Kronecker durchgeführt hat, ergab sich jedoch, daß man die Dichte, den Partialdruck des Sauerstoffs beim Aufenthalt in atmosphärischer Luft ohne Gefahr stärker herabsetzen darf, als bei Aufenthalt in reinem Sauerstoffgas. Dies zeigt sich besonders auffällig in folgendem von Kronecker angegebenem Versuch. — Man bringt ein Tier unter eine Glocke mit reinem Sauerstoff und verdünnt bis das Tier umfällt und dem Tode nahe scheint. Läßt man jetzt reinen Stickstoff einströmen, wodurch der absolute Druck erhöht wird, aber natürlich der Partialdruck des Sauerstoffs unverändert bleibt, so erholt sich das Tier alsbald. — Kronecker hat hieraus den Schluß gezogen, es komme wesentlich auf den absoluten Luftdruck an, indem ein allzu niedriger Druck die Verteilung des Blutes beeinflusse und speziell Blutstauung in den Lungen bewirke. Durch eine genauere Untersuchung der obwaltenden Verhältnisse konnte ich aber zeigen, daß bei Zufuhr reinen Stickstoffs zu dem unter niedrigem Drucke stehenden Sauerstoff

dessen Partialdruck in den Lungenalveolen erheblich gesteigert wird. Wie dies zu Stande kommt, soll später erörtert werden. — Ehe die Erhöhung der Sauerstoffspannung in den Alveolen durch die Zufuhr von Stickstoff nachgewiesen war, mußte Kroneckers Versuch als ein schwerwiegendes Argument gegen die überwiegende Bedeutung des Sauerstoffmangels bei den Erscheinungen der Luftverdünnung wirken. In dieser Hinsicht hat auch die Todesfahrt der französischen Aeronauten zu vielen Diskussionen Anlaß gegeben. Paul Bert hatte denselben nämlich auf Grund seiner experimentellen Erfahrungen empfohlen, nach Erreichung einer Höhe von 6000 m Sauerstoff zu atmen, und ihnen zu diesem Behufe mehrere Gummisäcke mitgegeben, welche eine Mischung von Luft und Sauerstoff enthielten. Da trotz dieser Vorsicht der Tod der beiden Aeronauten eintrat, glaubten viele, es sei nunmehr bewiesen, daß nicht Sauerstoffmangel, sondern mechanische Ursachen die Grenze bestimmten, bis zu welcher wir in der Atmosphäre emporsteigen können. In gleichem Sinne hatte man früher viele Erfahrungen von Bergsteigern und Luftfahrern benutzt. In den Berichten über derartige Hochtouren findet sich vielfach die Angabe, daß Nasenbluten oder auch Lungenblutungen eingetreten seien. Diese Blutungen erklärte man rein mechanisch durch die Annahme, der verminderte Druck der Luft halte nicht mehr genügend dem Druck des Blutes in den Gefäßen das Gleichgewicht, und so komme es zu einer Zerreißung der letzteren. Wäre diese Auffassung richtig, so müßten die Blutungen eine regelmäßige Erscheinung bei Luftverdünnung sein. Sie sind aber eine seltene Ausnahme, man beobachtet sie fast nie bei Tieren unter der Glocke der Luftpumpe. Eine genauere Analyse der in Betracht kommenden physikalischen Verhältnisse widerspricht aber auch derartigen Deutungen entschieden. Die Luft als ein leicht bewegliches Medium gleicht ihren Druck überall hin fast momentan aus. Wenn der äußere Druck der Luft sinkt, sinkt in gleichem Maße derjenige aller mit der Außenwelt in Berührung stehender Luftmengen im Innern des Körpers. Speziell die Luft in der Nase und den weiteren Luftwegen bis zu den Lungenbläschen hin muß momentan dieselbe Spannung annehmen, wie die des Körpers an allen Stellen gleichzeitig die Druckverminderung erfahren, kann Luft, welche von außen die Haut umspült. Da also das Blut und alle Flüssigkeiten diese unmöglich auf die Verteilung des Blutes im Körper einen Einfluß ausüben, wie dies bis in die jüngste Zeit noch einige hervorragende Forscher, vor allen Kronecker in Bern annahmen. Es sei noch daran erinnert, daß alle Flüssigkeiten und Gewebe des Körpers dieselbe minimale Zusammendrückbarkeit besitzen wie das Wasser, daß also ihr Volumen durch Änderung des Druckes um eine Atmosphäre nicht merkbar verändert wird. Nur in dem besonderen Fall kann der äußere Druck auf die Raumverhältnisse im Innern des Körpers wirken, wenn sich dort Luft außer Kommunikation mit der Außenwelt befindet. Derartige, wenn auch nicht absolut, so doch relativ abgesperrte Luftmengen, die ihren Druck mit der Außenluft nicht momentan ausgleichen können, finden sich im Innern unseres Ohrs in der sogenannten Paukenhöhle und in verschiedenen Abschnitten des Verdauungsapparates. Die Paukenhöhle kommuniziert zwar durch die tuba Eustachii mit dem Schlunde, aber diese zum Teil knorplige, zum Teil aber auch durch häutige Wandungen begrenzte Röhre ist für gewöhnlich durch Aneinanderliegen der Wände an ihrer Einmündung in den Schlund verschlossen. Häufig gesellt sich dazu Ansammlung zähen Schleimes, welche

die freie Kommunikation der Luft der Paukenhöhle mit dem Schlund verhindert. Der für gewöhnlich hermetische Verschluß der Schlundmündung der tuba öffnet sich nur beim Schlucken für Momente. Sowie der Außendruck absinkt, dehnt sich daher die Luft in der Paukenhöhle aus und drückt auf ihre Wandungen, besonders auf das ungemein nervenreiche, zarte Trommelfell, welches die Paukenhöhle gegen den äußeren Gehörgang abschließt. Die so bewirkte Spannung des Trommelfells wird schon bei einer plötzlichen Änderung des Luftdrucks um wenige Millimeter schmerzhaft empfunden. Diese schmerzhafte Empfindung ist jedem Luftschiffer bei schnellen Aufstiegen, aber in stärkerem Maße noch bei raschem Sinken des Ballons bekannt. Man kann sie meist durch einige Schluckbewegungen, welche die Schlundöffnung der tuba wegsam machen, beseitigen. Die Empfindlichkeit des Trommelfells gegen kleine Druckschwankungen ist so groß, daß man ohne Beobachtung des Barometers aus den in ihm auftretenden Spannungs-Empfindungen sofort erkennen kann, wenn der Ballon steigt oder fällt. Die Geschwindigkeit, mit welcher die modernen Bergbahnen ihre Passagiere in die Höhe tragen, ist schon groß genug, um die Empfindungen am Trommelfell auszulösen und sie sogar zu quälender Höhe zu steigern, wenn durch entzündliche Schwellungen der Paukenhöhle der Luftausgleich erschwert oder unmöglich gemacht ist. Wegen der Gefahren, welche der Nichtausgleich der in der Paukenhöhle eingeschlossenen Luft dem Gehörorgan bringen kann, muß man bei bestehenden Katarrhen des Rachens, die sehr häufig auf die Ohrtrompete übergreifen, sich von der Durchgängigkeit derselben überzeugen, ehe man an einer Luftfahrt teilnimmt. Auch ohne besondere Prüfung verrät sich der Verschluß der Ohrtrompete an knackenden Geräuschen und unangenehmen Spannungsgefühlen im Trommelfell, welche man häufig beobachtet. Diese mechanischen Wirkungen der Luftdruckveränderungen sind natürlich in ihrer Intensität abhängig von der Schnelligkeit und von der absoluten Größe der Druckschwankungen. Wir werden sie darum in noch stärkerem Maße als bei der Luftverdünnung im Ballon bei der Variation des Luftdruckes um mehrere Atmosphären, wie sie der Taucher und der Arbeiter in den sogenannten Caissons erfährt, finden. Bekanntlich verdoppelt sich der Luftdruck, wenn man 10 m tief in das Wasser taucht. Es setzen sich daher die Taucher, welche in Tiefen bis zu 50 m und mehr arbeiten, einem Druck von 5 Atmosphären aus, und bei ihrem Emporsteigen sinkt der Druck in entsprechendem Maße, also viel stärker, als er selbst beim Steigen in die allerhöchsten Regionen der Atmosphäre abnehmen kann. Die Erscheinungen von seiten des Mittelohrs sind dann auch in gleichem Maße stärker, als sie der Luftschiffer beobachtet. Diese starken Luftdruckschwankungen beim Ein- und Ausschleusen der Arbeiten in Caissons, bzw. beim Tauchen in größere Meerestiefen liefern uns auch den überzeugendsten Beweis, daß abgesehen von der Paukenhöhle des Ohrs und den noch zu besprechenden Luftansammlungen des Verdauungsapparates der Organismus durch die Luftdruckänderungen an sich mechanisch nicht beeinflußt wird. Wenn die Änderung des Druckes auf die Körperoberfläche an sich irgend eine Bedeutung hätte, müßte eine rasche Abnahme des Druckes von etwa $^4/_5$ Atmosphäre Überdruck bis auf normalen Druck genau denselben Effekt auf den Körper haben wie eine Abnahme von letzterem bis auf eine Spannung von $^1/_5$ Atmosphäre. Während aber die letztere (durch Sauerstoffmangel) tötlich ist, hat die

erstere kaum ein leichtes Unbehagen, abgesehen von den Empfindungen in der Paukenhöhle, zur Folge.

Wie schon erwähnt, werden auch die im Verdauungsapparat angesammelten Gase durch die Luftverdünnung beim Ballonaufstieg ausgedehnt. Auch hier ist ein momentaner Druckausgleich nach außen darum nicht möglich, weil die vielen Krümmungen und Windungen des Darmkanals und der zeitweise Abschluß durch Aneinanderliegen der Wände einen Ausgleich durch die natürlichen Ausgangspforten des Darmes nur sehr allmählich möglich macht. Wenn aber etwa bei einem Aufstieg zu 5000 m Höhe, d. h. in eine Luft von halber Spannung die den Verdauungsapparat füllenden Gase nach dem Mariotteschen Gesetz sich auf das doppelte Volumen ausdehnen, kann dies bei bestehender stärkerer Gasblähung des Darmkanals zu einer unangenehmen Druckwirkung auf das Zwerchfell und damit zur Behinderung der Atmung führen. Eine, wenn auch absolut geringfügige, Erschwerung der Atmung muß aber in jenen Höhen, welche bereits an sich die Gefahr des Sauerstoffmangels herbeiführen, diese Gefahr nennenswert steigern. Ich habe mich noch vor kurzem an mir selbst überzeugt, daß Einführung größerer Mengen Gas in den Magen durch Trinken von sehr kohlensäurereichen Mineralwässern zu einer Verminderung des Lungenvolumens durch Heraufdrängen des Zwerchfells führt und daß auch die maximale Ausdehnung der Lunge, welche wir durch Bestimmung der sogenannten Vitalkapazität messen, merklich beschränkt wird. Wenn infolge der Ernährungsweise andauernd stärkere Gasentwicklung im Verdauungsapparat stattfindet, wie dies namentlich nach reichlichem Genuß von zuckerreichen Speisen bei manchen Menschen, nach Aufnahme grüner Gemüse in größeren Mengen bei anderen, beobachtet wird, ist die Gefahr störender Blähung während einer Ballonfahrt gegeben. Die absolute Menge des sich im Verdauungskanal entwickelnden Gases hängt ja von der Natur der gärenden Substanzen ab. Sie ist also in der Höhe nicht größer und nicht kleiner, als sie bei gleicher Ernährung auf der Erde sein würde. Das entwickelte Gas aber nimmt der Luftverdünnung entsprechend einen größeren Raum ein und wirkt dadurch mechanisch störender. Es kommt aber noch ein zweites, diese Störung steigerndes Moment hinzu. Ein großer Teil der im Darmkanal gebildeten Gase, namentlich die Kohlensäure, welche immer die Hauptmasse der Gärungsgase ausmacht, wird von dem in der Darmwand zirkulierenden Blut aufgenommen und durch dieses in der Lunge zur Ausscheidung gebracht. Nun hängt die Aufnahme von Gas in das Blut von seinem Partialdruck ab, und dieser ist, wenn eine gegebene Gasmenge vorhanden ist, um so niedriger, je niedriger der absolute Luftdruck ist. Es wird daher beim Absinken des Luftdrucks auf die Hälfte in 5000 m Höhe die Aufnahme von Gasen aus dem Darm in das Blut auf die Hälfte sinken, was natürlich störenden Ansammlungen im Darmkanal wesentlichen Vorschub leisten wird. Man muß deshalb eine rationelle Ernährung als ein keineswegs zu vernachlässigendes Moment für das Gelingen einer Hochfahrt ansehen. Die absolute Menge der aufgenommenen Nahrung muß gering sein, blähende Gemüse, Süßigkeiten, leicht gärendes, zellulosereiches Brot, etwa Pumpernickel, der Genuß moussierender Getränke und dgl. müssen vermieden werden.

Wir wenden uns nunmehr einer genaueren Betrachtung der wesentlichsten Schädlichkeit bei Hochfahrten, des Sauerstoffmangels zu. Da offenbar die volle Würdigung der hier in Betracht kommenden Maßnahmen auch in Fachkreisen nicht



durchgehends besteht, da ferner die Erreichung möglichst großer Höhen im Ballon an eine genaue Kenntnis aller einschlägigen physiologischen Gesichtspunkte geknüpft ist, wollen wird diese jetzt etwas eingehender erörtern. Der Sauerstoff der geatmeten Luft tritt durch die äußerst dünne Zellenschicht, welche die Luft der Lungenbläschen von dem in ihrer Wandung zirkulierenden Blut trennt, in dieses über. Nach der gerade in jüngster Zeit durch neue Beweise gestützten Auffassung der meisten Sachkenner handelt es sich dabei um einen rein physikalischen Vorgang, um eine Bewegung des Gases nach den Gesetzen der Gasdiffusion von dem Ort höherer Dichte zu dem geringerer, während nach Ansicht einiger Gelehrter, von denen besonders der jüngst verstorbene dänische Physiologe Chr. Bohr sowie Haldane in Oxford genannt werden müssen, noch eine besondere Arbeitsleistung der Lungenzellen sich an dem Transport des Sauerstoffs beteiligt. Daß eine solche Arbeitsleistung unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht nötig ist, ergibt sich aus den Messungen der Diffusionsgeschwindigkeit der Gase im Lungengewebe, welche ich vor Jahren mit Löwy ausgeführt habe und welche im wesentlichen durch die Untersuchungen von Krogh in Kopenhagen bestätigt worden sind. Es liegen aber Versuche aus jüngster Zeit von Haldane vor, welche dafür sprechen, daß bei eintretendem Sauerstoffmangel, d. h. dann, wenn die Diffusionskräfte nicht mehr ausreichen, das Blut genügend mit Sauerstoff zu versorgen, eine besondere aktive Arbeitsleistung der Zelle den Übertritt des Sauerstoffs aus den Alveolen in das Blut unterstützt. Es würde zu weit führen, wollte ich an dieser Stelle die von Haldane für seine Auffassung ins Feld geführten Versuche verständlich schildern. Vollends aber, wenn ich die Bedenken, die ich gegen die Beweiskraft derselben habe, darlegen wollte. Nur so viel sei gesagt, daß die Grenzen der Luftverdünnung, bei denen die Sauerstoffzufuhr zum Körper ungenügend wird, ziemlich gut mit jenen zusammenfallen, welche man auf Grund der rein physikalischen Betrachtung des Sauerstoffübertritts ins Blut erwarten muß. Es ist also gerade in dem Fall, der uns besonders interessiert, bei der Luftverdünnung im Ballon, die etwaige physiologische Tätigkeit der Lungenzellen nicht von ausschlaggebender Bedeutung. Wir werden daher bei den folgenden Betrachtungen von ihr absehen.

Wie schon S. 31 ausgeführt, kann das Blut seine Aufgabe, den Geweben des Körpers den für ihre chemischen Prozesse nötigen Sauerstoff zu liefern, nur dadurch erfüllen, daß es in dem roten Farbstoff der Blutkörperchen einen eigenen Sauerstoffträger besitzt. Ohne diesen Sauerstoffträger würde das Blut noch etwas weniger Sauerstoff aufnehmen können, als wir im Wasser finden, das mit Luft in ausgiebiger Berührung war. Bekanntlich hängt die vom Wasser und anderen indifferenten Flüssigkeiten aufgenommene Sauerstoffmenge von der Dichte dieses Gases in der Luft ab. Das Wasser nimmt bei jedem Druck, so lange seine Temperatur dieselbe bleibt, dasselbe Volumen Sauerstoff aus der Luft auf. Dieses Volumen hat aber bei halbem Druck selbstverständlich nur das halbe Gewicht. Die aufgenommene Gewichtsmenge Sauerstoff ist also dem Druck proportional, aber nicht dem absoluten Luftdruck, sondern nur dem Anteil, welchen der Sauerstoff an diesem Gesamtdruck hat. Wenn also 100 ccm Wasser bei der Temperatur unseres Körpers aus reinem Sauerstoff etwa 2,4 ccm aufnehmen, nehmen sie aus atmosphärischer Luft, die nur zu $^1/_5$ aus Sauerstoff besteht, nur 0,5 ccm auf. Diese 0,5 ccm wiegen im



Meeresinveau d. h. bei einem Druck von 760 mm etwa 0,7 mg. In einer Höhe von 5500 m, bei halbem atmosphärischen Druck, dagegen nur 0,35 mg. Die einem im Wasser lebenden Tier zur Verfügung stehende Sauerstoffmenge nimmt also entsprechend dem Luftdruck in der Höhe ab, und darin liegt die Ursache, daß im Wasser lebende Organismen in gewissen Höhen nicht mehr existieren können, weil sie dem Wasser nicht mehr den für ihr Leben nötigen Sauerstoff zu entnehmen vermögen. In genau derselben Lage würden sich die Zellen unseres Körpers dem Blute gegenüber befinden, wenn dieses nicht neben dem physikalisch absorbierten Sauerstoff noch den an den Blutfarbstoff gebundenen enthielte. Auch dieser Sauerstoff ist ja bei verschiedenem Luftdruck in verschiedener Menge vorhanden, aber seine Menge folgt einem anderen komplizierteren Gesetz als der physikalisch absorbierte Sauerstoff.

Der eisenhaltige in den Blutkörperchen enthaltene rote Farbstoff, das Hämoglobin, ist eine sehr komplizierte Verbindung eines Eiweißkörpers mit dem eisenhaltigen Farbstoff Hämatin. Ein Molekül dieser Verbindung vereinigt sich an der Luft mit einem Molekül Sauerstoff. Da das Molekulargewicht des Hämoglobins 16000, das des Sauerstoffs 32 ist, kommt auf 1 g Hämoglobin etwa 2 mg oder bei gewöhnlichem Lufdruck gemessen 1,35 ccm Sauerstoff. Diese Verbindung, das Oxyhämoglobin ist nur bei einer Temperatur von mehreren Graden unter 0 beständig, bei höherer Temperatur zersetzt sie sich, gibt also ihren Sauerstoff ab. Das tritt in einfachster Weise zutage, wenn wir eine kalte Lösung des an der Luft mit Sauerstoff in Verbindung getretenen Farbstoffs oder statt dessen eine Quantität Blut im luftleeren Raum allmählich erwärmen. Bei — 5^0 entwickelt sich, wie schon erwähnt, kein Gas. Schon bei einer Temperatur von 0^0 aber gibt die Verbindung langsam Sauerstoff ab. Bei höherer Temperatur erfolgt diese Sauerstoffabgabe wesentlich schneller und bei der Temperatur des Warmblüterkörpers $= 37^0$ hat die Lösung in wenigen Augenblicken an den luftleeren Raum all ihren Sauerstoff abgegeben. Das gilt allerdings nur, wenn der Raum wirklich luftleer oder doch frei von Sauerstoff ist und durch eine kräftige Luftpumpe in diesem Zustande erhalten wird. Bringen wir die sauerstoffhaltige Blutlösung in ein Vakuum von beschränktem Umfang, so daß der abgegebene Sauerstoff in dem vorher leeren Raum eine gewisse Dichte erlangt, so hört die weitere Abgabe von Sauerstoff seitens des Blutfarbstoffs auf, um erst vorzuschreiten, wenn wir den Sauerstoff aus dem Luftraum entfernt haben, entweder indem wir aufs neue mit Hilfe der Luftpumpe alles auspumpen, oder indem wir den Sauerstoff durch ein indifferentes Gas, etwa Stickstoff, verdrängen. Wir erkennen durch diesen Versuch, daß die Sauerstoffverbindung des Hämoglobins bei höheren Temperaturen zwar fähig ist, vollkommen in Sauerstoffgas und zurückbleibendes Hämoglobin zu zerfallen, daß aber dieser Zerfall aufhört, sobald eine gewisse Quantität Sauerstoff sich in dem Raum befindet. Wenn wir diesen Versuch in der Weise ausführen, daß wir zunächst mit Hilfe der Luftpumpe die vollständige Trennung des Sauerstoffs von der Hämoglobinlösung herbeiführen und dann in den jetzt luftleeren Raum eine bestimmte Quantität Luft oder reinen Sauerstoff eintreten lassen, so wird ein großer Teil des Sauerstoffs sofort wieder vom Hämoglobin gebunden und zwar in um so reichlicherer Menge, je größer seine Dichte in dem Luftraum ist. Für jede Dichte des Sauerstoffs besteht also eine gewisse Größe seiner Auf-

nahme ins Blut, oder mit anderen Worten, bei jeder Dichte des Sauerstoffs haben wir es im Blute zu tun mit einer Mischung der Hämoglobinsauerstoffverbindung und des reinen Hämoglobins, in der die Sauerstoffverbindung um so mehr überwiegt, je größer die Dichte des Sauerstoffs in der angrenzenden Atmosphäre ist. Der eben geschilderte Vorgang der Verbindung des Sauerstoffs mit dem Hämoglobin und der Wiederabtrennung desselben in Berührung mit einer sauerstoffärmeren oder -freien Atmosphäre kann sich beliebig oft wiederholen. Wie für jede Konzentration des Sauerstoffs besteht auch bei gegebener Konzentration für jede Temperatur eine bestimmte Mischung sauerstoffhaltigen und sauerstofffreien Hämoglobins, oder anders ausgedrückt: bei jeder Dichte des Sauerstoffs in der Atmosphäre ist das mit ihr in Berührung stehende Hämoglobin zu einem bestimmten von der Temperatur abhängigen Prozentsatz mit Sauerstoff gesättigt. In Berührung mit atmosphärischer Luft von gewöhnlichem Druck ist die Sättigung des Hämoglobins mit Sauerstoff nahezu eine vollkommene, d. h. es findet sich fast genau auf 1 Molekül Hämoglobin der Lösung 1 Mol. Sauerstoff. Wie diese Sättigung bei Abnahme der Dichte des Sauerstoffs abnimmt, ergibt sich aus folgender Tabelle, welche für verschiedene Sauerstoffspannungen in der Atmosphäre die zugehörige Sättigung des Blutes mit Sauerstoff bei einer Temperatur von 38° C. angibt, wobei die Sättigung bei 150 mm Spannung, d. h. bei gewöhnlichem Atmosphärendruck, als hundert Prozent, bezeichnet wird. Daneben ist in Kol. 4 die in der Blutflüssigkeit nach dem Absorptionsgesetz gelöste Sauerstoffmenge angegeben.

Spannung	Sauerstoff aufgenommen	in 100 ccm Blut von 38° C.	
mm	Proz. chem. gebunden	chem. geb. Sauerstoff	in Plasma gelöster Sauerstoff
10	30,0	6,0	0,020
20	64,7	12,9	0,041
30	81,6	16,3	0,061
40	90,4	18,1	0,081
50	95,4	19,1	0,101
60	97,6	19,5	0,121
70	98,8	19,8	0,141
80	99,5	19,9	0,162
90	99,8	19,95	0,182
150	100	20,0	0,303

Aus der prozentischen Sättigung ist in Kol. 3 die im Blute bei normalem Hämoglobingehalt faktisch vorhandene Sauerstoffmenge berechnet. Diese Zahlen erleiden nun noch eine weitere, für das Verständnis der Atmung wichtige Komplikation durch die Einwirkung der im Blut nie fehlenden Kohlensäure auf die Sauerstoffbindung durch das Hämoglobin. Die Verbindung des Sauerstoffs mit dem Hämoglobin wird durch die gleichzeitig vorhandene Kohlensäure gelockert, oder mit anderen Worten: bei Gegenwart von Kohlensäure ist die durch eine bestimmte Sauerstoffspannung bewirkte Sättigung des Hämoglobins eine unvollkommnere. Das ist zahlenmäßig in folgender Tabelle[1]) ausgedrückt:

[1]) Nach Bohr Blutgase u. resp. Gaswechsel. Braunschweig 1905, S. 92.

Tabelle über den Einfluß der Kohlensäurespannung auf die Sauerstoffaufnahme im Blut bei 38°.

Sauerstoff-spannung mm	Aufgenommener Sauerstoff			
	5 mm CO_2	20 mm CO_2	40 mm CO_2	80 mm CO_2
5	11	5	3	1,5
10	28,5	14	9	4
15	51	27	18,5	8
20	67,5	41	29,5	14
25	76	54	40	22
30	82	63,5	50	31
35	86	71	58	40
40	89	77	66,5	49
45	91	82	73	56
50	92,5	86	78,5	62,5
60	95	90,5	86	73
70	97	94	91	80,5
80	98	96	94,5	87
90	98,5	97	96	91,5
100	99	98	97	95
150	100	100	99,8	99,5

Man sieht aus der Tabelle, daß der Einfluß der Kohlensäure bei höherer Sauerstoffspannung nur sehr gering ist, denn die Sättigung, welche bei 150 mm Sauerstoffspannung und 5 mm CO_2 100 beträgt, wird durch Erhöhung der Kohlensäurespannung auf 80 mm nur auf 99,5 erniedrigt. Dagegen nimmt bei 5 mm Sauerstoffspannung unter der gleichen Zunahme der Kohlensäure der aufgenommene Sauerstoff von 11 % auf 1,5 % ab. Diese Wirkung der Kohlensäure kommt der Verwertung des Sauerstoffs im Körper gewöhnlich zugute. In den Geweben, wo der Sauerstoff gebraucht wird, entsteht durch den Lebensprozeß der Zellen Kohlensäure, die aus den Zellen in das Blut überströmt. Infolgedessen wird die Spannung der Kohlensäure in den Geweben erhöht. Während sie in der Lunge bei normaler Atmung etwa 30—35 mm beträgt, steigt sie in den Geweben bis zu etwa 50 mm. Andererseits macht sich eine störende Wirkung der Kohlensäure für die Sättigung des Hämoglobins mit Sauerstoff bei verminderter Dichte dieses Gases, also etwa bei Atmung in großen Höhen, geltend. Wie wir noch sehen werden, haben wir in einer Meereshöhe von 5000 m noch mit einer Sauerstoffspannung in den Lungen von 40—50 mm zu rechnen. Unter diesen Umständen ist die Sättigung des Blutes bei 45 mm O-Spannung, wenn der Kohlensäuregehalt desselben ein niedriger ist, die CO_2-Spannung nur 20 mm beträgt, noch 82 %, bei 40 mm dagegen nur 73 %. Es ist also für die möglichst gute Versorgung des Körpers mit Sauerstoff wichtig, daß der Kohlensäuregehalt der Lungenluft ein möglichst niedriger, der des Kapillarenblutes in den Geweben dagegen ein möglichst hoher sei.

Als eine weitere Grundlage der Lehren, welche sich aus den mitgeteilten Tatsachen für die Hygiene des Aufenthaltes in sehr großen Höhen der Atmosphäre ergeben, müssen wir nun noch kurz erörtern, wie man die Spannung des Sauerstoffes und der Kohlensäure an der atmenden Oberfläche der Lungenbläschen ermitteln

kann. Es ist ja ohne weiteres klar, daß in den Luftbläschen der Lunge der Gehalt an Sauerstoff wesentlich niedriger, der an Kohlensäure erheblich höher sein muß als in der Außenluft, welche wir einatmen. Die Lunge des Menschen enthält bekanntlich ein gewisses Quantum Luft, welches auch bei stärkster Ausatmung nicht entleert werden kann, die Residualluft. Ihre Menge beträgt durchschnittlich etwa 1 Liter. Bis auf diesen Wert können wir aber den Luftgehalt der Lunge nur durch willkürlich aufs äußerste verstärkte Ausatmung bringen, normal bleibt ein wesentlich größeres Luftquantum, das wir bei ruhiger Atmung auf 2500—3000 ccm schätzen können, in der Lunge zurück. Diesem Luftvorrat, welcher aus 1000 ccm Residualluft und 1500—2000 ccm „Reserveluft" besteht, werden bei einer normalen ruhigen Einatmung etwa 500 ccm Luft beigemengt und nur bei willkürlich oder infolge gesteigerten Bedürfnisses bis aufs Äußerste verstärkter Einatmung fügt sich zu dieser normalen Einatmungsluft die sogenannte Komplementärluft in Höhe von wiederum 1800 ccm. Aus diesen Tatsachen ergibt sich, in welchem Umfange wir die Menge der ein- und ausgeatmeten Luft wechselnden Bedürfnissen anpassen können. Indem wir mit äußerster Anstrengung ein- und ausatmen, fördern wir statt der normalen 500 ccm annähernd 4000 ccm. Es hängt nun, wie leicht einzusehen, die Beschaffenheit der in den Lungenbläschen mit dem Blute in Wechselverkehr tretenden Luft einerseits von der Menge Sauerstoff ab, welche das Blut in der Zeiteinheit aus ihr aufnimmt und von der Menge Kohlensäure, welche es abgibt, und andererseits von der Menge frischer Luft, welche durch die Atembewegungen in die Lungenbläschen gelangt. Für die Wirkung dieser Zufuhr ist es aber nicht gleichgültig, ob eine bestimmte Menge Luft den Lungen durch viele flache oder durch wenige sehr voluminöse Atemzüge zugeführt wird. Der letztere Vorgang läßt den Kohlensäuregehalt der Luft der Lungenbläschen niedriger, ihren Sauerstoffgehalt höher werden als die flache Atmung bei gleichem geförderten Luftvolumen. Dieser Unterschied erklärt sich daraus, daß nicht die ganze eingeatmete Luft wirklich in die Lungenbläschen gelangt. Ein Teil bleibt in den Zufuhrwegen, d. h. in der Nase, dem Schlund, dem Kehlkopf und der Luftröhre mit ihren Ästen und wird zu Beginn des nächsten Atemzuges wieder in nahezu unveränderter Beschaffenheit entleert, ohne der Luft der eigentlichen Lungenbläschen sich beigemengt zu haben. Wir bezeichnen diesen Luftraum, in dem die eingeatmete Luft noch nicht ihre Funktion erfüllen kann, als den „schädlichen Raum". Seine Größe ist natürlich individuell verschieden, beträgt aber bei Menschen mittlerer Größe etwa 140 ccm, wie Loewy durch Messungen festgestellt hat. Wenn ein Mensch nun mit einem Atemzuge nur 140 ccm ein- und wieder ausatmet, so wird er die Luft der Lungenbläschen überhaupt kaum mit frischem Sauerstoff versorgen und auch die Kohlensäure nicht nach außen schaffen. Es würde also ein Mensch bei noch so zahlreichen, derartigen flachen Atemzügen schließlich ersticken müssen. Man kann sich durch Versuche am eigenen Körper sehr leicht von der Richtigkeit dieser Tatsache überzeugen. Wenn man etwa 1 Minute lang die normale Luftmenge von ca. 5 Litern in dieser Weise atmet, was 36 Atemzüge pro Minute erfordert, so ergibt sich, daß die ausgeatmete Luft statt, wie in der Norm etwa 200 ccm Kohlensäure zu enthalten, deren nur etwa 50 aufweist. Daß überhaupt eine nennenswerte Menge Kohlensäure unter diesen Umständen zur Ausscheidung kommt, erklärt sich dadurch,

daß sich bei den Atembewegungen Luftwirbel bilden, welche einen Teil der Luft der Alveolen bis in die größeren Luftröhrenäste vortreiben und dafür aus diesen wieder frische Luft in die Alveolen schaffen. Es wirkt ferner in diesem Sinne der Herzschlag, welcher, indem sich das Herz abwechselnd füllt und entleert, die benachbarten Lungenräume komprimiert und wieder frei gibt, so daß ein gewisser Luftwechsel in den Lungenbläschen sogar bei vollständig fehlenden Atembewegungen zustande kommt (cardiopneumatische Atmung).

Trotz dieser Beimengungen von eigentlicher Lungenluft zu der Luft des schädlichen Raumes können wir die wahre Zusammensetzung der Luft der Lungenbläschen aus der Analyse der ausgeatmeten Luft berechnen, wenn wir annehmen, daß in dieser für jeden Atemzug 140 ccm unveränderter atmosphärischer Luft enthalten sind. Die Richtigkeit dieser Rechnung ergibt sich aus der Übereinstimmung ihres Ergebnisses mit der direkten Analyse von Luft der Lungenbläschen, die wir dadurch gewinnen, daß wir den letzten Anteil einer kräftigen Ausatmung zur Analyse aufsammeln. Dies geschieht nach Haldane in der Weise, daß man nach einer normalen Einatmung durch einen langen Schlauch ausatmet und das im Munde befindliche Ende dieses Schlauches sofort nach beendigter Ausatmung mit der Zunge verschließt. An dies Ende ist seitlich ein Ansatz befestigt, durch welchen man etwa 20 ccm Luft aus dem Schlauch zur Analyse entnimmt. Durig und ich haben während eines Aufenthaltes in Teneriffa zahlreiche Berechnungen der Zusammensetzung der Alveolenluft aus der analysierten Ausatmungsluft ausgeführt, während unmittelbar vorher oder nachher Dr. Douglas, ein Mitarbeiter von Haldane, nach dessen Methode die gleichen Bestimmungen ausführte. Die Übereinstimmung war durchgehends eine befriedigende, nur einige in 3100 m Meereshöhe angestellte Bestimmungen ergaben differente Resultate, für die aber eine ausreichende Erklärung in dem Sinne gefunden werden konnte, daß die Atemmechanik schon einige Zeit vor dem von Douglas ausgeführten Versuche keine ganz normale war und dadurch eine gewisse Stauung von CO_2 im Blute zustande kam.

Da die genaue Kenntnis der Alveolartension für die Beurteilung der Höhe, in welcher der Sauerstoffmangel Gefahr bringen kann, von ausschlaggebender Bedeutung ist, wollen wir die Methode ihrer Berechnung eingehender darlegen. Nennen wir das Volumen des ganzen Atemzuges = A, das des schädlichen Raumes = a, den Prozentgehalt der ausgeatmeten Luft an Sauerstoff = E, den der eingeatmeten Luft = J, so ist der Sauerstoffgehalt der Alveolarluft $= x = \frac{A\,E - a\,J}{A - a}$.

Es sei die Rechnung durch ein Beispiel erläutert:

In einem Versuch im Meeresniveau betrug der Sauerstoffgehalt der während eines längeren Atemversuchs ausgeatmeten Luft 16 % (E); der der eingeatmeten Luft ist, so lange man im Freien atmet, natürlich konstant und beträgt 20,9 % (J).

Die in der Minute ausgeatmete Luftmenge betrug 5500 ccm, die Zahl der Atemzüge pro Minute 7, also das durchschnittliche Volumen jeder Atmung 786 ccm.

Die Zusammensetzung der Alveolarluft berechnet sich hiernach zu:

$$\frac{786 \cdot 0{,}16 - 140 \cdot 0{,}209}{786 - 140} = 14{,}92\ \%\ O_2.$$



Die hier vorliegende Atemform, wenige und tiefe Atemzüge, ist diejenige, die mir persönlich eigentümlich ist. Wir haben aber schon Menschen beobachtet, welche dasselbe Luftquantum oder ein etwas größeres in 20 Atemzügen atmeten.

Berechnen wir nun für diesen letzteren Fall die Alveolartension:

Der einzelne Atemzug würde hier betragen = 5500 ccm : 20 = 275 ccm. Davon kommen nur 275 — 140 = 135 ccm auf die eigentliche Lungenluft, und deren Zusammensetzung würde sein, wenn die ausgeatmete Luft wieder 16 % Sauerstoff hätte:

$$\frac{275 \cdot 0{,}16 - 140 \cdot 0{,}209}{275 - 140} = 10{,}82\ \%\ O_2.$$

Die Spannung des Sauerstoffs in den Lungenalveolen, welche den Grad der Sättigung des Blutes, wie wir oben gesehen haben, bedingt, berechnet sich aus dem Prozentgehalt und dem herrschenden Luftdruck. Es sei dieser im Meeresniveau 760 mm. Davon ist die Spannung des Wasserdampfs bei 37° C mit 46 mm abzuziehen, da ja in den Lungenalveolen die Luft stets infolge der Berührung mit der ausgedehnten feuchten Oberfläche mit Wasserdampf gesättigt ist. Der Druck der Gase beträgt also in den Lungenbläschen nur 760 — 46 = 714 mm. Die Sauerstoffspannung beträgt nun bei dem erst betrachteten Atemtypus 14,29 % dieses Wertes, also 106,6 mm bei dem zweiten, bei 20 Atemzügen in der Minute 10,82 % = 77,25 mm. Man sieht, wie enorm die Atemmechanik die Sauerstoffversorgung des Blutes beeinflußt. Das ist aber noch viel mehr der Fall, wenn wir uns in großen Höhen befinden, wie sich sofort ergibt, wenn wir dieselbe Rechnung für einen Barometerstand von 380 mm, etwa entsprechend 5000 m Meereshöhe ausführen. Für den ersten Atemtypus finden wir eine Sauerstoffspannung von 47,73, für den anderen 36,14. Wenn wir nun hieraus und aus der vorher S. 43 gegebenen Tabelle die relative Sättigung des Blutes mit Sauerstoff berechnen und zwar zunächst unter der Annahme, daß die Spannung der Kohlensäure in den Lungenbläschen, die wir ja in ganz analoger Weise aus der Kohlensäureanalyse der Atemluft berechnen, 20 mm betragen habe, so finden wir folgende Werte:

bei tiefer Atmung im Meeresniveau: 98 %, in 5000 m Höhe 88 %,
bei flacher Atmung ,, ,, 96 %, in 5000 m Höhe 72 %.

Eine Kohlensäurespannung von 20 mm kommt aber nur bei forcierter Atmung, wie sie vielfach in größerer Meereshöhe besteht, zustande. Bei normaler Atmung erreicht diese oft 40 mm, besonders im Meeresniveau. Dann würden die entsprechenden Sättigungswerte des Blutes sein:

97 % und 76 %
94 % und 59,5 %.

Was nun die Bedeutung dieser Abnahme der Sauerstoffsättigung des Blutes betrifft, so ist dieselbe wiederum individuell je nach der Kraft des Herzens und der Schnelligkeit des Blutumlaufs verschieden. Ein vollkommen kräftiger Mensch verbraucht im Durchschnitt bei einem Blutumlauf nur etwas über $^1/_3$ des Sauer-



stoffvorrats, den sein Arterienblut aus der Lunge mitbringt, d. h. von den 98 % der bei voller Sättigung aufnehmbaren Menge, welche bei tiefer Atmung im Meeresniveau aufgenommen werden, bleiben etwa 65 % ungenutzt und finden sich noch in dem aus dem rechten Herzen in die Lunge wieder einströmenden Venenblut. Demgemäß sollte man meinen, daß selbst eine Sauerstoffsättigung zu 59,5 %, wie wir sie bei flacher Atmung in 5000 m Höhe berechnet haben, den Bedarf des Körpers decken müßte. Denn auch hiervon würde nach Abzug von 33 % noch 26,5 % im Venenblute übrig bleiben. Diese Zahlen über den Sauerstoffverbrauch bei einem Umlauf des Blutes gelten aber nur für den Durchschnitt alles Venenblutes. In einzelnen Organen und namentlich in tätigen Organen ist der Sauerstoffverbrauch ein sehr viel größerer. Bei angestrengter Körpertätigkeit findet man das Venenblut im rechten Herzen sehr arm an Sauerstoff. Es enthält oft in 100 ccm nur 1—3 ccm, d. h. kaum 10 % des Gehalts bei voller Sättigung. Noch geringer ist aber oft der Sauerstoffgehalt des aus den tätigen Muskeln selbst ausströmenden Venenblutes. Dasselbe kann vollkommen sauerstofffrei sein. Daraus ergibt sich, daß für die Muskelarbeit eine ganz geringe Abnahme des Sauerstoffgehalts im arteriellen Blut schon eine Schädignug bedeutet. Wenn der tief atmende Mensch in 5000 m Höhe 10 % weniger Sauerstoff in seinem Arterienblut hat oder gar, wie das bei 40 mm Kohlensäurespannung der Fall sein würde, 20 % weniger, so bedeutet das schon eine erheblich verminderte Arbeitsfähigkeit des Körpers. Es gibt aber auch einzelne Organe, die schon in der Ruhe den Sauerstoffvorrat in dem ihnen zufließenden Blut weit stärker verbrauchen als dem Durchschnitt entspricht. Dies scheint ganz besonders in einzelnen Teilen des Hirns der Fall zu sein, so daß in diesem Organ schon geringe Abnahme des Sauerstoffgehalts des Arterienblutes Schädigung zustande bringt. Wahrscheinlich gilt für das Hirn dasselbe, was wir bei den Muskeln leicht nachweisen können, daß nämlich die tätigen Teile des Organs den Sauerstoff des durchströmenden Blutes in viel höherem Maße ausnutzen als die ruhenden. In einer eben veröffentlichten Arbeit hat Tangl gezeigt, daß starke Erregung des Gehirns, die er durch intermittierende grelle Belichtung erzielte, den Sauerstoffverbrauch von durch Curare bewegungslos gemachten Tieren erheblich steigerte. Er fand auch in dem aus den Hirnvenen abfließenden Blute während des Lichtreizes einen viel niedrigeren Sauerstoffgehalt als vorher und nachher. Nun bedeutet aber normales Fungieren der Sinne, normale Beherrschung unserer Muskulatur und schnelle Überlegung eine intensive Tätigkeit in bestimmten Teilen des Hirns, die speziell die betreffenden Funktionen leisten. So verstehen wir es, daß schon in relativ mäßigen Höhen bei einzelnen Menschen bald diese, bald jene Hirnfunktion notleidet. Bei einem ist es die Erhaltung des Gleichgewichts des Körpers, es treten Schwindelerscheinungen, Unsicherheit des Gehens auf, beim andern leidet die Verarbeitung der Sinneseindrücke; genaues Ablesen von Instrumenten, genaue Beobachtung akustischer Zeichen und dgl. werden unmöglich. Für manche Beobachtung im Ballon dürfte es von besonderer Bedeutung sein, daß zu den besonders leicht durch mangelhafte Sauerstoffversorgung geschädigten Funktionen des Gehirns der Farbensinn gehört. Ablesungen am Spektroskop oder am Interferometer und ähnlichen Instrumenten scheinen schnell in größeren Höhen mangelhaft zu werden.

Aus dem, was wir vorher über die Bedeutung des tiefen Atmens für die Sicherung eines hohen Sauerstoffgehalts in den Lungenbläschen gesagt haben, leiten sich zum Teil die enormen Unterschiede in der Toleranz verschiedener Menschen gegen Höhenluft ab. Loewy fand bei seinen ausgezeichneten Untersuchungen über die Wirkung der Luftdruckänderungen auf den Menschen ein Versuchsindividuum, das bei einem Minutenvolumen von etwa 5 Liter 18—22 Atemzüge in der Minute ausführte. Bei ihm traten schon ernste Erscheinungen des Sauerstoffmangels, in einem Fall sogar Ohnmacht, ein, bei einer Luftverdünnung, entsprechend einem Barometerdruck von 441 mm oder einer Meereshöhe von 3000 m. Ich selbst diente in den gleichen Versuchen und konnte dank meiner langsamen und tiefen Atmung (durchschnittlich 5 Atemzügen von je 800—1000 ccm) eine Luftverdünnung von 350 mm, entsprechend 6000 m Meereshöhe ohne Unbehagen vertragen. Das zeigt, in welchem Maße die individuelle Art der Atmung die Höhentoleranz beeinflußt. Wir hatten auch Gelegenheit, die Atemmechanik einiger hervorragender Höhenmenschen zu untersuchen (Berson, Süring, von Schrötter). Bei allen betrug die Atemtiefe über 500 ccm pro Atemzug. Es scheint sehr schwierig zu sein, willkürlich einen Atemmodus für Stunden inne zu halten, der von dem gewohnten verschieden ist. Offenbar hängt es von dem Bau des Brustkastens, der Leichtigkeit der Rippenhebung und der Exkursionsfähigkeit des Zwerchfells ab, ob ein Individuum seinen Luftbedarf mit geringerer Anstrengung durch zahlreiche, flache, oder durch wenige tiefe Atemzüge deckt. Unwillkürlich paßt sich nun bei jedem die Atemmechanik den Widerständen in der Weise an, daß die Gesamtarbeit der Atemmuskulatur eine möglichst geringe ist. Derartige Vermeidung unnützer Anstrengung sehen wir bei vielen, halb automatisch sich vollziehenden Funktionen unseres Körpers. Besonders charakteristisch tritt sie auch bei der Lokomotion hervor. Wenn wir die Geschwindigkeit des Gehens über eine gewisse individuell verschiedene bequeme Gangart beschleunigen, wird der Verbrauch nicht nur absolut, sondern auch für den Meter Wegs ein größerer. Wenn eine bestimmte Geschwindigkeit überschritten wird, sehen wir dann den Menschen halb unwillkürlich aus dem Gehen ins Laufen verfallen. Die Messungen des Verbrauchs haben ergeben, daß das bei der Geschwindigkeit geschieht, bei welcher der Verbrauch für das Laufen geringer ist als für das ebenso schnelle Gehen. Dasselbe habe ich bei mit Hagemann ausgeführten Untersuchungen über die Lokomotion des Pferdes gefunden.

Bekanntlich paßt sich die Atmung bei Muskeltätigkeit mit großer Präzision dem gesteigerten Verbrauch an, derart, daß, trotzdem die Verbrennung im Körper aufs 4—8 fache gesteigert ist, der Kohlensäuregehalt der Atmungsluft nur wenig gegenüber der Ruhe vermehrt ist und auch das Sauerstoffdefizit beinahe dasselbe bleibt wie bei Körperruhe. Diese Anpassung an den gesteigerten Arbeitsverbrauch vollzieht sich nun bei den Menschen, welche in der Norm zahlreiche, flache Atemzüge ausführen, hauptsächlich durch eine starke Vertiefung der Atmung. Diese Vertiefung hat natürlich eine Zunahme der Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen zur Folge, und so kann man gelegentlich in größeren Höhen oder bei Luftverdünnung beobachten, daß bei mäßiger Arbeit die Luftverdünnung besser vertragen wird als bei ruhigem Sitzen. So war es bei der vorher erwähnten flach atmenden Versuchsperson Loewys. Trotz des etwa aufs 5 fache gesteigerten Sauerstoffsverbrauchs



war bei ihm die Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen bei Arbeit höher als in absoluter Ruhe. Das hatte natürlich zur Folge, daß das arterielle Blut sauerstoffreicher ward, und daß demgemäß auch die Sauerstoffversorgung des Hirns während der Arbeit eine ausreichendere war als in absoluter Ruhe. Diese Erfahrung steht nur in einem scheinbaren Kontrast mit dem, was wir vorher über die Beschränkung der Arbeitsfähigkeit in größeren Höhen sagten. Durch die Arbeitsleistung der Muskeln wird ja der Sauerstoffverbrauch im Hirn nicht wesentlich geändert, infolgedessen kommt diesem der etwas erhöhte Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes zugute. Die Muskeln mit ihrem aufs 4—5 fache gesteigerten Sauerstoffverbrauch profitieren aber von dieser Zunahme des Sauerstoffgehalts um wenige Prozente nicht nennenswert.

Die hier hervortretende Tatsache, daß Muskeltätigkeit die Atmung so stark anregen kann, daß trotz des vermehrten Verbrauchs Erscheinungen von Höhenkrankheit verschwinden, wird verständlich, wenn wir den Mechanismus der Regulation der Atembewegungen ins Auge fassen. Der Impuls zur abwechselnden Vergrößerung und Verkleinerung des Brustkastens geht bekanntlich von dem sogenannten Atemzentrum im verlängerten Mark aus. Dieses Zentrum wird in der Norm und beim ruhenden Menschen im wesentlichen durch den Kohlensäuregehalt des Blutes erregt, derart, daß die Atembewegungen um so kräftiger werden, je reicher das Blut an Kohlensäure wird. Man kann experimentell nachweisen, daß jedes Millimeter Zuwachs der Kohlensäurespannung in den Lungenbläschen und damit natürlich auch in dem arteriellen zum Atemzentrum strömenden Blute die Größe der Atmung steigert. Durchschnittlich findet man, daß Zunahme der Spannung um 10 mm die Lungenventilation um 2—3 Liter pro Minute erhöht. Bei Muskeltätigkeit aber wächst die Atmung enorm, ohne daß die Kohlensäurespannung nennenswert zunimmt; manchmal, so namentlich oft bei Hunden, ist sogar die Steigerung der Ventilation durch die Muskeltätigkeit so groß, daß trotz der enorm vermehrten Produktion die Kohlensäurespannung in den Lungenalveolen, also auch im Arterienblut niedriger wird. Hier muß also ein anderer Reiz wirksam sein. Man kann leicht nachweisen, daß er in den tätigen Muskeln gebildet wird, denn wenn man das aus diesen kommende Blut aufstaut, es nicht zum rechten Herzen und von hieraus weiter zum Atemzentrum gelangen läßt, bleibt die Verstärkung der Atmung aus. Sie muß also auch auf einer chemischen Substanz, welche in den tätigen Muskeln gebildet wird, beruhen. Diese Substanz scheint nun nach allen neueren Untersuchungen Milchsäure zu sein, welche stets dann in tätigen Muskeln gebildet wird, wenn die Sauerstoffversorgung derselben keine ganz genügende ist. Bei dem enormen Verbrauch der tätigen Muskeln im Vergleich zu den ruhenden ist es aber unvermeidlich, daß namentlich im Beginn der Muskeltätigkeit der Sauerstoffbedarf dieser Organe nicht ganz gedeckt ist, daß sie also vorübergehend ohne Sauerstoff (anaërobiotisch) arbeiten müssen. So kommt es, daß die Muskeltätigkeit eigentlich regelmäßig mit Milchsäureproduktion verbunden ist und dadurch verstärkte Atmung bewirkt. Das Auftreten der Milchsäure bei Muskeltätigkeit läßt sich übrigens durch direkte Titrierung des Blutes leicht nachweisen. Man kann auch zeigen, daß sie um so reichlicher auftritt, je forcierter die Muskeltätigkeit und andrerseits je ungenügender die Sauerstoffversorgung der tätigen

Muskeln ist. Wir werden demgemäß erwarten müssen, daß in größerer Höhe infolge des verminderten Sauerstoffgehalts des Arterienblutes die Milchsäurebildung bei der Muskeltätigkeit besonders reichlich ist und daß dadurch die Erregung des Atemzentrums besonders intensiv wird. Das muß weiterhin dazu führen, daß bei Arbeit in größeren Höhen die Kohlensäurespannung in den Lungenalveolen und damit auch im Blut infolge der forcierten Atmung heruntergeht. Die Tatsachen entsprechen durchaus diesen Überlegungen.

Eine Zunahme der Säure im Blut läßt sich auf zwei Weisen bequem demonstrieren. Entweder in der Art, wie man die Alkaleszenz irgend einer Sodalösung durch Titrieren bestimmt, indem man so lange Säurelösung von bekannter Konzentration zufügt, bis die Flüssigkeit auf Lackmuspapier neutral reagiert, d. h. bis blaues Lackmus ganz schwach gerötet wird. Mit einer gewissen Modifikation, welche durch die intensive Rotfärbung des Blutes bedingt ist, läßt sich diese Methode beim Blut anwenden. Man verfährt dabei in der Weise, daß man eine gemessene Menge Blut, etwa 5 ccm mit destilliertem Wasser aufs 10 fache verdünnt. Dadurch werden die roten Blutkörperchen aufgelöst, und es entsteht eine durchsichtige, rote Flüssigkeit. Wenn man in diese einen Streifen Lackmuspapier eintaucht, der mit konzentrierter Kochsalzlösung gesättigt ist, kann man hinterher mit Hilfe von Filtrierpapier den Blutfarbstoff vollkommen entfernen und sieht dann auf dem Papier fast so gut, als wenn man es mit einer farblosen alkalischen Lösung zu tun hätte, den blauen Farbenton, welcher die alkalische Reaktion des Blutes anzeigt. Man fügt dann stark verdünnte, etwa $^1/_{25}$ normale Weinsäure so lange zu, bis das eingetauchte Lackmuspapier nach Entfernung des Blutfarbstoffes eine deutliche Rotfärbung zeigt und diese auch nach etwa einer Minute noch behält. Dieses Abwarten ist nötig, um nicht durch die Wirkung der Kohlensäure getäuscht zu werden. Nach dieser Methode bestimmte Galeotti den Alkaligehalt von Kaninchenblut bei demselben Tier erst in Turin und dann auf dem Gipfel des Monte Rosa (4560 m). Es zeigte sich eine Abnahme der Alkaleszenz um etwa $^1/_3$. Ähnliche Versuche habe ich an mir selbst und mehreren Kollegen auf Teneriffa in Höhen bis zu 3000 m ausgeführt. Auch hier ist eine deutliche Abnahme, wenn auch entsprechend der geringeren Höhe keine so erhebliche, wie sie Galeotti auf dem Monte Rosa fand, nachweisbar. In ganz gleicher Weise nimmt die Alkaleszenz des Blutes ab, wenn man ein Tier starke, mit Sauerstoffmangel einhergehende Muskelarbeit ausführen läßt, wenn man etwa ein Kaninchen rasch durchs Zimmer hetzt. In diesem Falle kann die gebildete Säuremenge so bedeutend sein, daß das Blut überhaupt nicht mehr alkalisch gegen Lackmus reagiert. Sobald dieser Punkt erreicht ist, stirbt das Tier. Das ist eine Erscheinung, die man schon lange auf der Jagd beim Hetzen von Hasen und dgl. beobachtet hat. Ebenso wie bei dieser Prüfung der Reaktion gegen Lackmus, tritt die Abnahme des Alkali im Blut zutage, wenn man den Kohlensäuregehalt desselben bestimmt. Die mit der Dichte der Kohlensäure in der Atemluft wechselnde Menge der im arteriellen Blut enthaltenen Kohlensäure ist zum größeren Teil chemisch an Alkali gebunden, nur zum kleineren Teil physikalisch in der Flüssigkeit absorbiert.

In dem Maße, wie die Alkaleszenz des Blutes abnimmt, sinkt natürlich auch die gebundene Kohlensäure und damit der gesamte Gehalt des Blutes an Kohlensäure.



Marro, ein Mitarbeiter von Mosso, fand an Kaninchen diese Abnahme der Kohlensäure beim Übergang von der Ebene zum Gipfel des Monte Rosa. Der Befund kann nicht so unmittelbar wie das Ergebnis der Titrierung als Beweis verminderter Alkalimengen im Blute dienen. Es hängt ja der Kohlensäuregehalt des Blutes nicht nur vom Vorrat desselben an Alkali, d. h. von seiner Bindefähigkeit für Kohlensäure, sondern auch von der Dichte der Kohlensäure in der Lungenluft ab. Bei gegebener Alkaleszenz des Blutes entspricht jedem Kohlensäuredruck eine bestimmte Kohlensäuremenge im Blute. Wenn nun in größeren Höhen die Atmung eine forciertere, infolgedessen der Gehalt der Alveolenluft an Kohlensäure ein niedrigerer ist, muß ebenso der Kohlensäuregehalt des Blutes abnehmen. In der Tat kann man nun durch Messung der Atemvolumina feststellen, daß die Lungenventilation in größeren Höhen bei gleicher Kohlensäurebildung im Körper eine größere ist. Das kommt, wie vorher schon erwähnt, daher, daß die in der Höhe gebildete Milchsäure oder, mit anderen Worten, die verminderte Alkaleszenz des Blutes als neuer Reiz auf das Atemzentrum wirkt. Infolgedessen ist stets bei Abnahme der alkalischen Reaktion des Blutes sein Kohlensäuregehalt stärker vermindert als dieser Abnahme entspricht. Es wirken eben stets verminderte Bindefähigkeit infolge der Säurebildung und verstärkte Ventilation zusammen, um den Kohlensäuregehalt des Blutes auf einen sehr niedrigen Wert zu bringen. Wie aus dem Gesagten hervorgeht, ist die Störung des Stoffwechsels, welche in großen Höhen aus der mangelnden Sauerstoffversorgung einzelner Organe resultiert, die Ursache der Milchsäurebildung und damit der Abnahme der alkalischen Reaktion des Blutes und gleichzeitig der verstärkten Atmung.

Die aus beiden Momenten hervorgehende Verminderung des Kohlensäurevorrats im Blute hat Mosso irrtümlich als das Primäre in der Höhenwirkung angesehen und ist so zu der viel besprochenen Theorie der „Akapnie" gekommen. Akapnie, d. h. Rauchlosigkeit: mit diesem prägnanten Ausdruck bezeichnete Mosso die Minderung des Kohlensäuregehalts im Blut. Es ist durch neuere Untersuchungen, namentlich von Henderson dargetan worden, daß sehr starke Verminderungen des Kohlensäuregehalts im Blut, wie man sie durch forcierte Lufteinblasungen in die Lunge erzielen kann, das normale Ineinandergreifen der nervösen Regulation des Blutdrucks und der Herztätigkeit ganz wesentlich stören und so Krankheitserscheinungen, ähnlich dem nach großen Verletzungen auftretenden sogenanntem „shock", herbeiführen kann. Damit hat aber die Kohlensäureverminderung beim Aufenthalt in großen Höhen nichts zu tun, denn hier tritt ja an Stelle der teilweise durch die Säure aus dem Blute verdrängten Kohlensäure eben diese nicht flüchtige Säure, die ebenso wie die Kohlensäure als Reiz für die nervösen Zentren fungiert. Vermöge dieser Bildung von Milchsäure, welche sofort einsetzt, wenn in irgend einem Organ der Sauerstoff zur Deckung des Energiebedarfs nicht ausreicht, trägt der Sauerstoffmangel in sich selbst ein Korrektiv. Zum normalen Atemreiz der Kohlensäure tritt der der Milchsäure, und so kommt es zu einer Verstärkung der Atembewegungen, welche geeignet ist, die Kohlensäurespannung in den Lungenalveolen herabzusetzen und gleichzeitig die Sauerstoffversorgung des Blutes zu verbessern. Wenn die zur Milchsäurebildung führende Sauerstoffarmut sich nur in Organen geltend macht,

welche für den Ablauf der Lebensprozesse nicht in jedem Augenblick unentbehrlich sind, also nicht im Hirn oder im Herzen, veranlaßt sie verbesserte Atmung und damit wieder reichlichere Sauerstoffversorgung des Blutes, die eine Anpassung an stärkere Luftverdünnung bedeutet. Es ist also eine wichtige Bedingung für das Ertragen sehr großer Höhen, daß das Hirn so reichlich mit Blut versorgt sei, daß bei ihm der Sauerstoffmangel sich später als in der Muskulatur oder in den Drüsen der Bauchhöhle geltend macht.

Diese Erwägung sollte uns zu besonderer Vorsicht bei Hochfahrten älterer Personen veranlassen. Bekanntlich kommt es im höheren Alter sehr häufig zu einer als Arteriosklerose bezeichneten Erkrankung der Arterien, bei welcher diese ihre normale Elastizität verlieren, starr und zugleich brüchig werden. Die Erkrankung befällt zuweilen weite Strecken der Hauptarterien des Körpers, in anderen Fällen einzelne kleinere Äste. Die im höheren Alter häufigen Hirnblutungen (sog. Hirnschlag) beruhen auf der Zerreißung derartig erkrankter Arterien. Aber auch ohne daß es zu einem solchen das Leben bedrohenden Ereignis kommt, erzeugt die Arteriosklerose der Hirngefäße mannigfache Störungen, welche auf ungenügender Blutversorgung einzelner Teile des Hirns beruhen. So beobachtet man Unsicherheit beim Stehen und Gehen, besonders aber bei feineren Hantierungen, welche häufig nur mit starkem Zittern ausgeführt werden können. In anderen Fällen besteht Schwindelgefühl, undeutliches Sehen, das sich bis zu vorübergehender Blindheit steigern kann. Alle diese Erscheinungen beruhen darauf, daß die erkrankten Gefäße, deren Ringmuskulatur zum Teil durch starres verkalktes Gewebe ersetzt ist, sich nicht mehr, dem wechselnden Bedarf des Gehirns und seiner einzelnen Teile entsprechend, verengern und erweitern können. Es kommt dadurch besonders in den jeweils stark tätigen und deshalb sauerstoffbedürftigen Teilen des Hirns zu Sauerstoffmangel, der die Funktion beeinträchtigt, unter Umständen vorübergehend lähmt. (Vergessen von Namen, von eben geplanten Dingen, Blindheit, Unfähigkeit gewisse Bewegungen auszuführen.) Wo derartige Erscheinungen bestehen oder auch nur vorübergehend auftreten, ist natürlich der verminderte Sauerstoffgehalt des Arterienblutes in Höhen über 3000 m eine ernste Gefahr. Die Kombination der beiden Schädlichkeiten, verminderter Sauerstoffgehalt des Blutes und ungenügende Zufuhr desselben durch die erkrankten Arterien, kann bedrohliche Störungen auslösen, welche durch die Arterienerkrankung allein nicht zustande gekommen wären.

Ähnlich wie die Arteriosklerose des Hirns bedeutet auch die sehr häufige an den Kranzgefäßen des Herzens eine große und unberechenbare Gefahr bei starker Luftverdünnung. Wenn die Starre und Verengung der Herzarterien einen höheren Grad erreicht hat, kann jede plötzliche Anstrengung, die eine verstärkte Pumparbeit des Herzens verlangt, zur Erlahmung dieses Organs und damit zum Tode führen. Die gleiche Wirkung hat natürlich der verminderte Sauerstoffgehalt des Arterienblutes in größeren Höhen — das Herz erhält noch weniger Sauerstoff als sonst, seine Arbeitsfähigkeit ist also gemindert, während doch das vermehrte Bedürfnis aller Organe nach Sauerstoffzufuhr eine verstärkte Herzarbeit verlangt. Diese Forderung eines die geringere Sauerstoffsättigung des Hämoglobins kompensierenden rascheren Blutumlaufs erkennen wir beim Übergang in größere Höhen an der wachsenden Zahl der Herzschläge. In jüngster Zeit hat Flemming be-



sonders dieses Anwachsen der Pulsfrequenz bei Hochfahrten genauer studiert. Er konnte auch zeigen, daß der Pulsschlag prompt langsamer wird und sogar zu den Normalwerten am Boden zurückkehrte, wenn man Sauerstoff atmen läßt.

Um zu prüfen, ob das Gefäßsystem eines Menschen den Anforderungen einer Hochfahrt gewachsen ist, sollte man ihn einige Minuten lang eine Luft mit nur 12—13 % Sauerstoffgehalt atmen lassen und beobachten, ob dabei Störungen auftreten. — Am bequemsten kann man dies mit Hilfe einer die Kohlensäure der Ausatmungsluft absorbierenden Kalipatrone (Dräger, Lübeck), wie sie bei den Rettungsapparaten der Feuerwehr gebräuchlich sind, und eines um 4 Liter Luft fassenden Gummisacks feststellen. Wenn man aus dem Sack etwa 1½ Minuten ruhig sitzend durch die Patrone geatmet hat, ist der Sauerstoffgehalt der Luft auf etwa 13 % reduziert. Ein normaler Mensch hat dann noch keinerlei Funktionsstörungen, während bei erkrankten Hirn- oder Herzgefäßen die oben geschilderten Störungen zu erwarten sind.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß der Durchschnittsmensch bis zu Höhen von 4000 m im Ballon keine Beschwerden durch Sauerstoffmangel erfährt. Jene Fälle auffallend flacher häufiger Atmung, bei welchen schon in 3000 m Erscheinungen auftreten, sind selten. Nur dann könnten in geringeren Höhen bereits Störungen sich einstellen, wenn die Versorgung des Hirns eine auffallend schlechte ist. Sei es, daß die Gefäße des Hirns selbst so eng sind, daß sie nur gerade den Bedarf im Flachlande decken, oder daß die Herztätigkeit aus irgend einem Grunde eine besonders schwache ist. Beide Fälle dürften sich kombinieren in der Nachwirkung reichlicheren Alkoholgenusses.

Den Sauerstoff, das souveräne Mittel zur Überwindung der Höhenkrankheit, werden wir im folgenden eingehender besprechen. Hier sei nur hervorgehoben, daß man die vorher geschilderten ersten Erscheinungen des Sauerstoffmangels durch willkürliche Vertiefung der Atmung beseitigen kann.

Von der Muskeltätigkeit hatten wir schon vorher gesagt, daß sie beim Menschen mit flacher Atmung eine bessere Sauerstoffversorgung des arteriellen Blutes und damit des Gehirns herbeiführt. Andrerseits ist sie es gerade, die besonders bei größeren Anstrengungen und bei forcierterer Benutzung einzelner Muskelgruppen schon in Höhen von 3000 m deutlich leidet. Es geht namentlich aus den zahlreichen Messungen, welche ich und mehrere Mitarbeiter sowie Durig auf verschiedenen Expeditionen ins Hochgebirge gemacht haben, hervor, daß die maximale Leistung der Muskulatur in einer Höhe von 3000 m schon bei der Mehrzahl der Menschen herabgesetzt ist. Diese Herabsetzung spricht sich in einem sehr interessanten und auf den ersten Blick paradox erscheinenden Phänomen aus. Wenn man den Sauerstoffverbrauch für eine bestimmte Arbeitsleistung, z. B. für das Ersteigen einer gewissen Höhe mißt, so ist er in 3000 m Höhe fast bei allen Menschen größer als im Meeresniveau. Diese Steigerung des Verbrauchs, die ja auf den ersten Blick als eine sehr unzweckmäßige Reaktion des Organismus erscheint, kommt dadurch zustande, daß bei ungenügender Versorgung der arbeitenden Muskeln mit Sauerstoff und dadurch bedingter verminderter Leistungsfähigkeit derselben Hilfsmuskeln zur Arbeit herangezogen werden, welche für die betreffende Arbeit weniger zweckmäßig gelagert sind und deshalb die Arbeit nur unter größerem Energieverbrauch

leisten können. Dasselbe Phänomen beobachten wir auch in der Ebene bei starker Ermüdung, sowie in allen Fällen, wo durch entzündliche Reizung von Sehnen oder Gelenken die Bewegung schmerzhaft wird. Ein reiches Material konnte ich in dieser Hinsicht bei meinen mit Schumburg ausgeführten Studien über die Physiologie des Marsches sammeln. Wenn ein Soldat etwa 25 km mit Gepäck marschiert ist und eine gewisse Ermüdung bei ihm Platz gegriffen hat, braucht er pro Meter Weges 5—10 % mehr Sauerstoff als im Beginn des Marsches. Dieser Mehrverbrauch ist noch ein erheblich größerer, wenn etwa eine Blase unter dem Fuße oder eine ähnliche kleine Marschschädigung eine gewisse Schonung beim Gehen erfordert. In demselben Zustande wie die ermüdeten Muskeln am Schluß eines langen Marsches befinden sich alle unsere Muskeln in stark verdünnter Luft. Weil sie mit weniger Sauerstoff versorgt sind, kommen sie früher an die Grenze ihrer Leistungsfähigkeit, und es werden deshalb Hilfsmuskeln zur Leistung der Arbeit herangezogen. Von besonderer Bedeutung kann dieser Umstand für den Flieger werden, der positive und sehr präzise Muskelarbeit beim Steuern aufzuwenden hat. Wenn er in Höhen von 2000 m und darüber sich befindet, ist sicher die Leistungsfähigkeit seiner Muskulatur, namentlich soweit es sich um länger andauernde Spannung der Muskeln handelt, eine herabgesetzte. Das straffe aktionsbereite Halten des Steuers in bestimmter Position bedeutet eine ständige Anspannung einer Anzahl von Muskeln der Arme. Solche Anspannung aber ist, wie jedermann aus Erfahrung weiß, viel ermüdender als selbst größere Kraftanstrengungen, die in raschen Intervallen von Erschlaffungen der Muskeln gefolgt sind. Diese stärkere Ermüdung bei der sogenannten tonischen Kontraktion des Muskels beruht darauf, daß die ständige Spannung die Blutdurchströmung der Muskeln beeinträchtigt. Der Wechsel von Kontraktion und Erschlaffung, wie er in besonders typischer Weise beim Gehen auftritt, wirkt auf den Blutstrom in den Muskeln wie eine Pumpe. Bei jeder Kontraktion werden die Venen ausgepreßt und bei der nachfolgenden Erschlaffung füllen sie sich neu in der Richtung des normalen Blutstroms von den Kapillaren her, weil die Venenklappen einen Rückstau hindern. Diese Pumpenwirkung fällt bei andauernder Muskelspannung weg, infolgedessen wird bei ihr der Sauerstoffvorrat des in geringerer Menge durchströmenden Blutes stärker beansprucht und ein geringes Minus an Sauerstoff im arteriellen Blut, wie es in mäßigen Höhen schon besteht, macht sich stärker geltend. Hier kommt aber noch ein anderes Moment in Betracht, dadurch gegeben, daß wir bei andauernder fester Spannung der Armmuskeln, wie sie das Halten des Steuers auch heute noch bei den meisten Flugzeugtypen bedingt, nicht ganz frei atmen können. Die von dem Brustkasten zum Oberarm ziehenden Muskeln finden an letzteren ihren Fixpunkt und infolgedessen muß der Brustkasten in relativ steter Spannung, die natürlich dem Ein- und Ausatmen hinderlich ist, gehalten werden. Nach dieser Richtung kann man sich übrigens trainieren und kann sich üben, jene unwillkürliche Hemmung der Atmung, wie sie bei straffer Haltung der Arme besonders dann leicht zustande kommt, wenn auch die Aufmerksamkeit in bestimmter Richtung angestrengt fixiert ist, zu überwinden. Es scheint mir nicht unwichtig, daß bei der Einschulung des Fliegers, der größere Höhen erreichen soll, auf diese Vermeidung von Atmungshemmungen besonders geachtet wird.

VI. Erscheinungen des Sauerstoffmangels in geringen Höhen.

Aus dem vorher Gesagten ergibt sich, daß die Erscheinungen des Sauerstoffmangels, welche in Höhen über 4000 m bei allen Menschen mehr oder weniger zutage treten, schon in geringeren leichte Störungen herbeiführen können. Wir hatten schon auseinandergesetzt, daß die Empfänglichkeit des Menschen für diese Störungen nicht nur individuell ungemein verschieden ist, sondern daß sie auch bei derselben Person stark wechselt mit Änderungen des Gesundheitszustandes, welche anderweitig kaum empfunden werden. Diese individuellen Differenzen in der Toleranz gegen die Höhenwirkung hängen, abgesehen von der Atemmechanik, in erster Linie von der Leistungsfähigkeit des Herzens ab. Wir hatten ja gesehen, daß ein geringer Sauerstoffmangel des arteriellen Blutes durch schnelleren Umlauf desselben wettgemacht werden kann. Man begreift daher, daß bei geschwächter Herztätigkeit schon in geringeren Höhen Erscheinungen des Sauerstoffmangels auftreten können. Diese Erscheinungen sind aber auch nicht immer in denselben Organen zuerst bemerkbar; speziell die Ernährungsverhältnisse des Gehirns und seine Blutversorgung wechseln, je nachdem dieses Organ ausgeruht oder überanstrengt ist, und hängen ferner ab von gewissen Giften, welche die Funktion des Hirns beeinflussen. Am auffallendsten wirkt in dieser Hinsicht der Alkohol. Wenn die erregende Wirkung dieses Genußmittels abgeklungen ist, bleibt auch nach mäßigen Gaben eine gewisse Herabsetzung der Leistungsfähigkeit des Hirns, welche uns in höherem Maße in den Erscheinungen des sogenannten Katzenjammers bekannt ist. In diesem Zustande ist aber nicht nur die Leistung der Hirnzellen verringert, auch ihre Blutversorgung ist nicht eine vollkommen normale. Die Gefäßnerven, welche diese Blutversorgung vermitteln, reagieren ebenfalls nicht in normaler Weise auf die Impulse, die ihnen im Zusammenhang mit der Beanspruchung einzelner Hirnabschnitte zufließen. Durch diese Störungen der Gefäßregulation, verbunden mit dem Schwächezustand des Herzens, welcher durch die gleiche Schädlichkeit bedingt ist, kann es leicht kommen, daß schon in einer Höhe von 2000 m die Feinheit der Reaktion unseres Zentralnervensystems auf äußere Eindrücke und ebenso die Schnelligkeit dieser Reaktion vermindert ist. Auf diesem Umstande beruht eine große Gefahr für den Flieger, sobald er in größere Höhen vordringt. Wenn schon die normalen Verhältnisse des Fluges an die geistigen Kräfte und an die Schnelligkeit des Entschlusses des Fliegers die höchsten Anforderungen stellen, so wachsen diese Anforderungen natürlich, wenn er sich in großen Höhen bewegt, besonders dann, wenn diese Bewegungen nicht über Ebenen erfolgen, sondern beim Übersteigen hoher Gebirge, etwa der Alpen. Hier ist das Fliegen in großen Höhen notwendig und nach allem, was wir über den Einfluß der Gebirge auf die Luftströmungen wissen, ist es sogar notwendig, daß man sich viele Hundert Meter über dem zu überschreitenden Höchstpunkt des Gebirges in der Luft hält. Wissen wir doch, daß an den Abhängen der Bergzüge sehr starke auf- und absteigende Luftströmungen von größter Unregelmäßigkeit häufig vorkommen. Eine hierher gehörige Beobachtung, welche ich vom Gipfel des Monte Rosa, der

Margherita-Hütte, aus gemacht habe, wo Staubwolken vom Sesiatal aus innerhalb weniger Minuten mehr als 3000 m hoch bis über meinen Standort hinaus emporgewirbelt wurden, und zwar bei schönem, sonnigen Wetter, habe ich schon S. 8 erwähnt. Es ist gerade die plötzliche Erwärmung der Bergflanken durch die Sonne, welche diese unerwarteten aufsteigenden und ähnlich natürlich auf der anderen Seite des Berges absteigenden Windstöße zustande kommen läßt. Es erscheint kaum denkbar, daß die Steuerkunst auch eines geübten Fliegers einem derartigen plötzlichen Windanprall stand hält. Er muß daher beim Übersteigen der Gebirge so hoch wie möglich über dem Kamme sich befinden. Damit aber kommt er in Regionen, in welchen der Sauerstoffmangel sich schon erheblich geltend macht, d. h. mit anderen Worten, seine körperliche und geistige Leistungsfähigkeit ist vermindert gerade in dem Moment, wo die höchsten Anforderungen an dieselbe gestellt werden. Die Gefahr solcher Störungen ist um so größer, je schneller man aus mäßigen Höhen bis zu 3000 m und mehr emporsteigt. Das lehren unter anderem die Erfahrungen, welche man auf den Bergbahnen gemacht hat, verglichen mit dem, was man beim Wandern auf die Bergeshöhen beobachtet. In Höhen, wo der Fußgänger fast niemals irgendwelche Störungen empfindet (2500—3000 m), findet man unter den Reisenden der Bergbahnen schon eine ganze Menge Bergkranker. Das liegt keineswegs allein daran, daß mit den Bahnen auch schwächlichere Personen, denen das Klettern unmöglich ist, in bedeutende Höhen gelangen, vielmehr beobachtet man auch an solchen Menschen, welche bei Fußwanderungen niemals in solchen Höhen bergkrank gewesen sind, auf der Zahnradbahn Erscheinungen von Schwäche, Schwindel und Übelkeit, die sich meist schon dadurch als Höhenkrankheitssymptome dokumentieren, daß sie schnell schwinden, wenn man durch eine Anzahl tiefer Atemzüge willkürlich den Sauerstoffgehalt des Blutes erhöht. Die Gefahr des Eintritts derartiger durch Sauerstoffmangel im Hirn bedingter Funktionsstörungen wird beim Flieger noch dadurch erhöht, daß man bei gespannter Aufmerksamkeit auf irgend ein wichtiges Moment, etwa beim Beobachten des Ganges der Maschine, leicht vorübergehend das Atmen vergißt, oder richtiger gesagt, die Atmung hemmt. Diese Hemmung, welche bei hohem Luftdruck vollkommen ungefährlich ist, weil sie von selbst rechtzeitig durch Einsetzen tiefer Atemzüge unterbrochen wird, kann in einer Höhe von 3000 m und mehr direkt verhängnisvoll werden, indem sie jenen Zustand der Ernährungsstörung im Hirn herbeiführt, welcher zu unzweckmäßigem Handeln und damit eventuell zu einem tötlichen Absturz führt.

Von eigenen Erfahrungen, welche die Bedeutung des Sauerstoffmangels schon in mäßigen Höhen illustrieren, möchte ich eine Beobachtung anführen, welche wir beim Aufenthalt in den Cañadas des Pic von Teneriffa vor zwei Jahren machen konnten. Einer unserer Mitarbeiter, Dr. Douglas, beschäftigte sich bei Prüfung des Einflusses der Höhe auf die Blutbildung mit Farbenvergleichen, indem die Farbe einer verdünnten Blutlösung mit der eines künstlichen Gemisches von Blut und Karminlösung sehr genau verglichen werden mußte. Während er in der Ebene diese Farbenvergleichung mit großer Präzision anstellen konnte, erwies sich in der Höhe unter sonst gleichen Bedingungen der Fehler erheblich größer. Andere Erfahrungen der Art, die sich allerdings auf wesentlich größere Höhen beziehen,

hat von Schrötter in seiner Abhandlung ,,Der Sauerstoff in der Prophylaxe und Therapie der Luftdruckerkrankungen" [1]) mitgeteilt. Er gibt dort S. 239 ein Faksimile seiner Handschrift, wie sie in großer Höhe sich gestaltet, verglichen mit seiner schönen, klaren Schrift unter normalen Verhältnissen. Man sieht bei Betrachtung dieser Schriftzüge, in wie hohem Maße die Beherrschung der feineren Bewegungsverhältnisse der Hand und des Armes, welche beim Schreiben erforderlich sind, unter Wirkung der Höhe gelitten hat. Man sieht aber noch ein zweites, daß nämlich auch die Präzision des Ausdrucks in der Schilderung der Beobachtungen wesentlich geringer wird als unter höherem Luftdruck. In den extremsten Fällen führen diese Störungen der Sauerstoffversorgung des Hirns zum vollständigen Ausfall einzelner Hirnfunktionen. So haben Luftfahrer wiederholt bemerkt, daß sie plötzlich in großer Höhe die Skala ihrer Thermometer nicht mehr sehen konnten. Von diesem Zustand bis zum vollständigen Schwinden des Bewußtseins ist natürlich nur noch ein ganz kleiner Schritt. Wenn schon in der Ebene bei geschwächter Herztätigkeit infolge vorangegangener Überanstrengung oder der anderen erwähnten Umstände es gelegentlich selbst bei kräftigen Menschen vorkommen kann, daß sie bei plötzlichen Aufstehen aus der liegenden oder sitzenden Stellung das Bewußtsein verlieren, ohnmächtig werden, so ist diese Gefahr um so größer, in je dünnerer Luft man sich befindet.

Ich möchte noch ein Beispiel jener ganz leichten und doch unter Umständen gerade für den Flieger verhängnisvollen Störung der Hirnfunktionen anführen, welche wir bei unserem Aufenthalt auf dem Monte Rosa beobachteten. Ein Mitglied unserer Expedition, C., ein recht geübter Bergsteiger, litt während unseres Aufenthaltes mehr oder weniger ausgesprochen an den Erscheinungen der Bergkrankheit. Wir machten eines Tages einen Abstieg von der Gipfelhütte zu dem etwa 70 m tiefer gelegenen großen Hochplateau. Dabei passierte man längs der Randkluft, welche den Eisabhang des Gipfels von dem großen Firnfeld trennt. Um einem kleinen Hindernis im Wege auszuweichen, machte C. einen Sprung zur Seite, aber nicht, wie das eigentlich instinktiv jeder mit den Verhältnissen Vertraute getan haben würde, nach der Bergseite, sondern direkt in die Randkluft hinein, so daß er verloren gewesen wäre, wenn er nicht von den hinter ihm Gehenden am Seile gehalten worden wäre. Ich erwähne diesen Fall, weil er die Gefahren, denen der Luftfahrer, der fortwährend rasche Entschlüsse zu fassen hat, in solchen Höhen ausgesetzt ist, besonders deutlich illustriert.

VII. Sauerstoffatmung als Mittel zur Erreichung größerer Höhen.

Die Tatsache, daß die Beschwerden der Höhe, speziell die Eingenommenheit des Kopfes, die Abschwächung der Sinnesfunktionen und die Erlahmung der Muskelkräfte schwinden, wenn man Sauerstoff atmet, steht über allem Zweifel fest. In Höhen von 4000—8000 m etwa bedarf es hierbei nicht einmal besonderer Kautelen, welche den Lungen reinen Sauerstoff sichern. Es genügt, den Partialdruck dieses

[1]) Handbuch der Sauerstofftherapie von Max Michaelis, Berlin 1906, S. 155—314.



Gases in den Lungen nennenswert zu erhöhen, um sofort alle Erscheinungen zu beseitigen. Dementsprechend genügen in diesen Höhen die relativ primitiven Hilfsmittel, deren sich die Luftfahrer bis vor kurzem allgemein bedienten. Noch auf der Rekordhöhenfahrt von Berson und Süring benutzten diese eine einfache, mit der Sauerstoffbombe verbundene Hartgummiröhre, welche sie in den Mund nahmen und etwa wie eine Pfeife handhabten. Hierbei gelangte je nach der Weite der Öffnung der Sauerstoffbombe mehr oder weniger Sauerstoff bei der Einatmung in die Lungen, gemischt mit Luft, welche gleichzeitig durch die Nase eindrang. Dieses Verfahren ist darum recht unzuverlässig, weil ja meist die Symptome des Sauerstoffmangels sich nicht in unangenehmer und zur Abhilfe drängender Weise offenbaren. Oft kann das Bewußtsein plötzlich schwinden, ohne daß Vorboten zu verstärkter Sauerstoffzufuhr gemahnt hätten. Mit dem Eintritt von Bewußtlosigkeit oder selbst von Halbschlaf aber kann das Mundstück gänzlich den Lippen entgleiten, und damit ist unter Umständen der Tod des Luftfahrers besiegelt. Man muß deshalb für Höhenfahrten über 8000 m darauf bestehen, daß eine festsitzende Verbindung der Atemwege mit der Sauerstoffquelle bestehe. Als solche kann man die Mundstücke benützen, wie ich und meine Mitarbeiter sie seit vielen Jahren bei Respirationsversuchen anwenden. Zwischen Lippen und Zähnen befindet sich eine weiche Gummiplatte, die in der Mitte durchbohrt ist und eine Röhre trägt, die die Verbindung mit der Sauerstoffquelle vermittelt. Das Mundstück wird schon durch die Elastizität der Lippen und die Mundfeuchtigkeit luftdicht festgehalten. Man kann es aber noch weiter sichern, indem man eine vorn geschlitzte elastische Binde, etwa nach Art der Bartbinden, über die Lippen legt und am Hinterkopf zuschnürt. Die Nase ist durch eine Klemme hermetisch verschlossen. Auf diese Weise erfolgt die Atmung zwar nicht in ganz normaler Weise, da die Nase ausgeschlossen ist, aber doch in einer Art, welche von den meisten Menschen anstandslos stundenlang ertragen wird. In gewisser Hinsicht noch bequemer wird die Atmung, wenn man eine gut schließende, der individuellen Gesichtsform angepaßte Maske, welche Mund und Nase bedeckt, anlegt. Eine solche Maske trägt zweckmäßig am Rande eine Art Pneumatik, durch welche die feste Anpassung an das Gesicht erleichtert und der Druck der Ränder gemildert wird. Man hat solche Masken aus Metall und aus Hartgummi angefertigt. Zu ihrer sicheren Befestigung dienen wiederum Bänder, welche am Hinterkopf zugeschnürt werden. Man kann auch, wie dies Flemming in jüngster Zeit getan hat, die Maske mit der Mütze zu einem Ganzen verbinden und dadurch ihre Last gewissermaßen durch den ganzen Kopf tragen lassen. Ich habe keine praktische Erfahrung, um beurteilen zu können, ob diese Einrichtung Vorzüge vor dem einfachen Anbinden der Maske besitzt. Die Maske muß natürlich zwei Öffnungen haben., für den eintretenden Sauerstoff und für die Ausatmungsluft. Beide Wege, auf alle Fälle aber die Austrittsöffnung müssen mit Ventilen versehen sein. Als Austrittsventil dient zweckmäßig eine kurze Metallröhre, welche durch eine aufgeschliffene, bewegliche Metallplatte verschlossen ist. Die Platte wird durch schwachen Druck einer Feder angedrückt und öffnet sich, sobald im Innern der Maske geringer Überdruck durch die Ausatmung erzeugt wird. Von großer Wichtigkeit ist die Kapazität der Maske. Da ein Teil der ausgeatmeten Luft in dieser zurückbleibt und bei der nächsten Ein-

atmung wieder in die Lungen zurückgelangt, vergrößert die Maske den „schädlichen Raum" der Luftwege, über welchen wir S. 44 sprachen. Die Wirkung einer solchen Vergrößerung des schädlichen Raumes ist aber bei der Sauerstoffatmung eine etwas andere als bei der gewöhnlichen Zusammensetzung der Atemluft. Bei letzterer hat die im schädlichen Raum zurückbleibende Exspirationsluft einen Sauerstoffgehalt von 14—15 %, der in extremen Fällen, d. h. bei geringem Atemvolumen und oberflächlicher Atmung bis auf 10 % herunter gehen kann. Besteht nun der größte Teil der neuen Einatmung aus dieser Luft, so wird natürlich der Sauerstoffgehalt in den Alveolen alsbald auf einen bedenklichen Wert herabsinken. Atmen wir dagegen eine sehr sauerstoffreiche Luft, so wird bei gleichem prozentischen Verbrauch in den Lungen der Sauerstoffgehalt der Luft im schädlichen Raum noch immer 50 % betragen, wenn die Einatmungsluft etwa 60 % hatte. Es darf also ohne erhebliche Beeinträchtigung der Sauerstoffversorgung Luft wiederholt geatmet werden; natürlich wächst unter diesen Umständen der Kohlensäuregehalt der eingeatmeten Luft. Das ist aber nicht unbedingt ein Nachteil, denn jede Erhöhung der Kohlensäurespannung in der Atemluft führt zu Vertiefung der Atmung und damit wiederum zu einer Verminderung des Anteils des schädlichen Raumes am Gesamtvolumen eines Atemzuges, d. h. also zu einer Verbesserung der aus der Maske eingeatmeten Luft. Da wir früher gesehen haben, daß eine Vertiefung der Atmung gerade bei beginnendem Sauerstoffmangel erwünscht ist und den Erscheinungen des Sauerstoffmangels abhelfen kann, ist die durch die Maske bewirkte Erhöhung der Kohlensäurespannung in der Lungenluft zweckmäßig, so lange sie eine gewisse Grenze nicht überschreitet. Als höchste zulässige Kapazität der Maske möchte ich etwa 160 ccm bezeichnen. Es beträgt dann der gesamte schädliche Raum ca. 300 ccm, so daß bei einer Atemtiefe von 500 ccm, wie sie den meisten Menschen zukommt, immer noch 200 ccm frisch zuströmenden Sauerstoffs in die Alveolen gelangen.

Von wesentlicher Bedeutung ist auch die zweckmäßige Regulation des Zustromes von Sauerstoff zur Maske. Man benutzt hierzu jetzt fast allgemein die Zwischenschaltung eines Gummisackes zwischen Sauerstoffbombe und Atemmaske. In der Tat sichert ein solcher Sack, wenn man ihn ständig in einem Zustand mittlerer Füllung hält, die nötige Sauerstoffzufuhr, auch wenn aus irgend einem Grunde einzelne Atemzüge besonders vertieft werden, und er vermeidet es andererseits, daß der Sauerstoff unter Überdruck der Maske zuströmt, was ein nutzloses Entweichen desselben durch das Ausatmungsventil zur Folge haben würde. Zwischen die Sauerstoffbombe und den Gummisack pflegt man allgemein ein Reduzierventil einzuschalten, durch welches eine bequeme Dosierung der ausströmenden Sauerstoffmenge ermöglicht ist. Das Reduzierventil hat aber auch einen Nachteil. Es nimmt ziemlich viel Raum ein und beengt dadurch, besonders wenn bei mehreren Mitreisenden etwa drei Sauerstoffbomben gleichzeitig in Tätigkeit sind, den ohnehin knappen Raum in der Gondel. Man ist übrigens auch bei Benutzung eines solchen Ventils nicht der Mühe enthoben, in kurzen Zwischenräumen den Sauerstoffstrom aus der Bombe zu regulieren. Einmal weil das Atembedürfnis wechselt, namentlich nach jeder körperlichen Anstrengung, wie etwa Ballastauswerfen, sehr erheblich gesteigert ist, und andererseits weil der Sauerstoffstrom bei der allmählichen Abnahme des Drucks in der Bombe nachläßt. Ich finde es deshalb nach zahlreichen

Erfahrungen bei der Sauerstoffzufuhr zu meiner Respirationskammer zweckmäßiger. auf das Reduzierventil zu verzichten und dafür die Öffnung der Bombe, statt durch das kleine Rad, welches auf dem Kopfe der Bombe angebracht ist, durch einen etwa 15 cm langen Hebel, den man sehr bequem an Stelle dieses Rades aufschrauben kann, zu bewirken. Mit Hilfe eines solchen Hebels läßt sich der Austritt des Sauerstoffs aus der Bombe aufs feinste regulieren. Diese Regulation hat so zu geschehen, daß der Sack immer zu etwa $^2/_3$ gefüllt bleibt.

Die Menge des für eine Fahrt mitzunehmenden Sauerstoffs ergibt sich leicht aus der normalen Atemgröße des Menschen. Diese beträgt in absoluter Ruhe im Durchschnitt etwa 5 Liter pro Minute. Man wird bei dem leichten Grade von Bewegungen, die der Ballonfahrer zum Zwecke seiner Beobachtungen im allgemeinen nur auszuführen hat, kaum mehr als 7 Liter als Durchschnittsbedarf zu rechnen haben. Das wäre also pro Stunde ein Verbrauch von 420 Liter, so daß man mit einer gewöhnlichen 1200 Liter fassenden Bombe für knapp drei Stunden versorgt wäre. Eine längere Zeit dürfte man kaum in Höhen von 7000 m und darüber verweilen. Immerhin bleibt es unbedingt notwendig, daß der Ballonfahrer, ebenso wie er auf seinen Ballastvorrat für die künftige Landung achtet und diese nicht unter eine gewisse Grenze sinken lassen darf, so auch auf alle Fälle sorgen muß, daß er mit seinem Sauerstoffvorrat ausreicht, bis er wieder unter 6000 m Höhe abgesunken ist. Es ist deshalb auf alle Fälle erwünscht, an der Bombe ein Manometer zu haben, welches uns in jedem Moment über den noch vorhandenen Sauerstoffvorrat unterrichtet. — Der oben angenommene Verbrauch von 7 Liter Sauerstoff pro Minute ist allerdings bei einigermaßen dicht schließenden Leitungen und gut anliegender Maske oder Mundstück ein Maximum. Es nimmt ja das Atemvolumen in der Höhe, wie alle unsere Hochgebirgsversuche gezeigt haben, zu, aber im allgemeinen in geringerem Maße als die Verdünnung der Luft. Das auf normalen Druck reduzierte Atemvolumen ist also in der Höhe der Regel nach etwas geringer als im Meeresniveau. In unseren Versuchen und denen der anderen im Hochgebirge tätigen Forscher kam nur ausnahmsweise der Fall vor, daß das reduzierte Atemvolumen in der Höhe dem im Meeresniveau gleichkam oder es gar übertraf. So reicht also der angenommene Durchschnittsbedarf von 7 Liter auch noch für die gelegentlich des Ballastwerfens oder ähnlicher Arbeiten nötigen Anstrengungen aus.

VIII. Berechnung der höchsten erreichbaren Höhen.

Wenn es sich darum handelt, maximale Höhen mit Hilfe der Sauerstoffatmung zu erreichen, müssen noch gewisse Kautelen beachtet werden, die man bisher wohl nicht genügend klargestellt hat. Das Wesentliche bleibt ja, daß eine zur Deckung des Sauerstoffbedarfs ausreichende Dichte dieses Gases in den Lungenalveolen bestehe. Diese Dichte hängt außer vom absoluten Luftdruck von der Menge anderer Gase ab, die dem Sauerstoff in den Lungenalveolen beigemengt sind. Hier haben wir stets bei der Körpertemperatur von ca. 37° eine Wasserdampfspannung von 46 mm. Die Kohlensäurespannung wechselt in weiteren Grenzen. Sie ist ja im allgemeinen niedriger als auf der Erde, wenn wir in Höhen von 4000 m und darüber ge-

wöhnliche Luft atmen. Wir haben oben schon auseinandergesetzt, daß dies seinen Grund darin hat, daß in solchen Höhen der in einzelnen Organen bereits wirksame Mangel an Sauerstoff zur Bildung von Milchsäure und damit zu einem neuen Atemreiz Anlaß gibt, welcher die Lungenventilation verstärkt und dadurch naturgemäß den Prozentgehalt der Lungenluft an Kohlensäure herabmindert. Mit dieser Minderung dürfen wir natürlich nicht rechnen, wenn wir reinen Sauerstoff atmen, und wir werden überhaupt im allgemeinen mit dem Maximum an Kohlensäure rechnen müssen, wenn wir Gefahren ausschließen wollen. Wir können dann, solange stärkere Muskeltätigkeit vermieden wird, annehmen, daß in der Minute 250 ccm Kohlensäure (reduziert auf 0^0 und 760 mm) ausgeschieden werden. Das würde bei 5 Liter Lungenventilation im Liter 50 ccm von 0^0, also etwa 57 ccm bei 37^0 C ausmachen. Das bedeutet aber eine Gasspannung von 43,3 mm. Die so berechnete Spannung ist sicher ein Maximalwert, denn sie übertrifft die höchste praktisch beobachtete nicht unerheblich. Es kommt nun aber nicht auf die Kohlensäurespannung in der Exspirationsluft, sondern auf die höhere in den Lungenbläschen an. Diese ergibt sich aus der Erwägung, daß bei jedem Atemzug der Inhalt des schädlichen Raumes als nahezu unveränderte atmosphärische Luft ausgeatmet wird, daß also bei einem Menschen, dessen schädlicher Raum 140 ccm beträgt, die ganze ausgeatmete Kohlensäure in den Lungenbläschen in einem Luftraum enthalten war, der um 140 ccm kleiner ist als das Volumen der Exspiration. Wir wollen nun für verschiedene Formen der Atemmechanik, die sich aus dieser Erwägung ergebende Kohlensäurespannung in den Lungenalveolen berechnen. Jener vorher angenommene Fall, daß in der Ausatmungsluft eine Kohlensäurespannung von 43,3 mm herrscht, stellt sicher ein Extrem dar. Praktisch wird sich bei so hohem Kohlensäuregehalt automatisch die Atmung verstärken und infolgedessen die Kohlensäurespannung herabgehen. Wenn wir aber mit jenem extremen Fall rechnen, und um nach jeder Richtung die Bedingungen ungünstig zu machen, annehmen, daß die 5 Liter Minutenventilation sich auf 10 Atemzüge verteilen, dann hätten wir in diesen 5 Litern 10×140 ccm $= 1,4$ Liter Luft des schädlichen Raumes. Es wäre also die Kohlensäure welche in 5 Litern 43,3 mm Spannung hat in 3,6 Liter Alveolenluft enthalten. In dieser würde also die Spannung betragen

$$\frac{43,3 \cdot 5}{3,6} = 60,1 \text{ mm.}$$

In den umfänglichen Untersuchungen, welche ich selbst und meine Mitarbeiter und später Durig über die Kohlensäurespannung in den Lungenbläschen bei Aufenthalt in verschiedenen Höhen angestellt haben, wurde als Maximum in der Ebene eine Spannung von 36 mm gefunden, in größeren Höhen ging dieselbe bis auf 20—25 mm zurück. Das bezieht sich allerdings auf den Zustand absoluter Ruhe und niedriger Sauerstofftension in der Atemluft. Bei größerer Muskelanstrengung nimmt im allgemeinen die Lungenventilation so stark zu, daß die Kohlensäurespannung in der Ebene meist nur wenig erhöht, in der verdünnten Luft des Hochgebirges sogar etwas herabgesetzt ist.

Wir wollen nun für jene faktisch wohl niemals vorkommende maximale Spannung von 60,1 mm und weiter für die den tatsächlichen Verhältnissen entsprechende,

aus unseren zahlreichen Erfahrungen abgeleiteten, wohl allein in Betracht kommenden Spannungen von 36 und 25 mm die erreichbaren Höhen berechnen. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß der zur Atmung zur Verfügung stehende Sauerstoff niemals absolut rein ist. Wir finden durchschnittlich im Sauerstoff der käuflichen Bomben 3—4 % Stickstoff, haben aber auch gelegentlich schon Bomben mit einem Gehalt von 7 und 8 % Stickstoff gefunden. Es erscheint deshalb nötig bei Rekordfahrten, die bis zu maximaler Höhe gehen sollen, den Sauerstoffgehalt der zu benützenden Bomben analytisch festzustellen, und eine stärkere Beimengung als 3 % Stickstoff nicht zuzulassen. Aber selbst dann, wenn man sich für eine Höhenfahrt ganz reinen Sauerstoff verschaffen würde, wäre es doch nicht zu vermeiden, daß in den Lungenbläschen dauernd ein geringer Stickstoffgehalt sich findet, und zwar aus zwei Gründen. Einmal hat unser Körper, in den verschiedenen Geweben gelöst, nicht unerhebliche Mengen von Stickstoff vorrätig. Sind es doch diese Stickstoffmengen, welche nach mehrstündigem Aufenthalt in komprimierter Luft sich derartig anhäufen, daß sie nach der Rückkehr unter normalen Druck die das Leben bedrohende Entwicklung von Gasblasen im Blute und im Gewebe des Nervensystems hervorrufen. Wir können den Gesamtvorrat des menschlichen Körpers an gasförmig absorbiertem Stickstoff unter normalen Bedingungen, je nachdem der Organismus magerer oder fettreich ist, auf 2000—2500 ccm schätzen. Ein fettreicher Organismus beherbergt erheblich mehr Stickstoff, weil Fett einen etwa 5 mal größeren Absorptionskoeffizienten für dieses Gas hat als Wasser. Dazu kommt ein individuell wechselnder Vorrat an Stickstoff in den Darmgasen, der bis zu 500 ccm betragen kann. Wenn wir nun reinen Sauerstoff atmen, gibt zwar das Blut in den Lungenalveolen fast momentan den größten Teil seines Stickstoffs an den Sauerstoff, der die Lungenbläschen erfüllt, ab, aber in den Geweben sättigt es sich aufs neue mit Stickstoff, so daß immer wieder eine beträchtliche Stickstoffmenge an die Luft der Lungenbläschen abgegeben wird. Wir dürfen, gestützt besonders auf die exakten Messungen von A. Bornstein in Hamburg, annehmen, daß erst nach etwa einer Stunde der größte Teil des im Körper vorrätigen Stickstoffs an die Lungenluft abgegeben ist. Rechnen wir nun, daß in dieser Stunde 300 Liter Sauerstoff geatmet worden sind, und daß sich der Stickstoff des Körpers auf dieses Gas gleichmäßig verteilt hätte, so ergibt sich bei einem maximalen Stickstoffvorrat von 3000 ccm durchschnittlich 1 % Stickstoff im Lungengas. Faktisch vollzieht sich ja die Stickstoffausgabe des Körpers nach einer asymptotisch der Abszisse sich nähernden Kurve. In der ersten Zeit wird viel, dann progressiv immer weniger Stickstoff der Lungenluft beigemengt. Wir werden also darauf rechnen dürfen, daß ein Luftfahrer, der etwa in einer Höhe von 6000 m mit der Sauerstoffatmung beginnt, wenn er nach einer Stunde eine Höhe von 10 000 m erreicht hat, nur noch sehr geringe Mengen Stickstoff in seinen Geweben hat, also der Luft seiner Lungenbläschen auch nur sehr wenig von diesem Gas beimengt. Ganz aber wird diese Stickstoffbeimengung zur Lungenluft überhaupt nicht aufhören, denn die äußere Haut nimmt in Berührung mit der Atmosphäre ständig aus dieser Stickstoff auf und gibt ihn an das zirkulierende Blut ab. Es findet, wie bekannt, bei Menschen und Tieren eine Hautatmung statt, welche unter normalen Verhältnissen zu einer Abgabe von Kohlensäure und zu



einer Aufnahme von Sauerstoff führt. Stickstoff wird für gewöhnlich durch die Haut nicht aufgenommen, weil die Spannung dieses Gases im Blut ebenso hoch ist wie in der an die Haut angrenzenden Luftschicht. Das ändert sich aber, sobald durch die Atmung reinen Sauerstoffs die Stickstofftension im Blut auf einen minimalen Wert reduziert ist. Jetzt nimmt die Haut ständig Stickstoff auf, und dieser Stickstoff wird in den Lungen an die Alveolenluft wieder abgegeben. Der Umfang dieser Stickstoffwanderung nach den Lungen läßt sich auf Grund der Versuche, welche Franchini und Preti[1]) in meinem Laboratorium ausgeführt haben, annähernd abschätzen.

Die direkt bestimmte Sauerstoffaufnahme durch die Haut betrug bei einer Temperatur der Haut von 36° C und einer als Triebkraft wirkenden Konzentrationsdifferenz von 81,5 Volumprozent 1,25 l pro Stunde. Nun verhalten sich nach Hüfner die Diffusionskoeffizienten von Sauerstoff und Stickstoff wie 1,67 : 1,79. Es würden also bei gleicher Konzentrationsdifferenz in der Stunde 1,34 l Stickstoff ins Blut eintreten, um in der Lunge wieder ausgeschieden zu werden. Da die Konzentrationsdifferenz zwischen dem Stickstoffgehalte der Atmosphäre und dem der mit Sauerstoff gefüllten Lungenalveolen auf 77 % anzuschlagen ist, vermindert sich diese Zahl im Verhältnis $\frac{77}{81 \cdot 5}$ auf 1,29 l pro Stunde. Bei 600 l Lungenventilation in der Stunde ergibt dies eine Erhöhung des Stickstoffgehalts in der Exspirationsluft um 0,22 %, also in der Alveolenluft um etwa 0,3 %. Das wäre bei 250 mm Luftdruck ein Partiardruck von 0,75 mm.

Ein Stickstoffgehalt des Bombengases von 3 % würde bei 250 mm Barometerstand einen Partiardruck von 7,5 mm ergeben. Durch die Zumischung des Wasserdampfs und der Kohlensäure wird dieser in den Lungenalveolen etwa auf die Hälfte herabgedrückt. Wir müssen deshalb damit rechnen, daß durch die gesamten Umstände, d. h. durch die unvermeidliche Verunreinigung des geatmeten Sauerstoffs mit Stickstoff und durch die ständige Zufuhr von Stickstoff zu den Lungenalveolen von seiten des Blutes, die Stickstofftension in der Lungenluft wenigstens 4 mm beträgt. Wir hätten dann also 46 mm Wasserdampfspannung, 60 mm Kohlensäure, 4 mm Stickstoff und müssen ferner verlangen, daß behufs ausreichender Sättigung des Blutes mit Sauerstoff die Tension dieses Gases wenigstens 40 mm beträgt. Wir kommen so zu einer Gesamtspannung von 150 mm, d. h. die äußerste Höhe, die wir unter diesen Umständen ohne Gefahr erreichen können, wäre die, in welcher der Luftdruck 150 mm beträgt, d. h. eine Höhe von 13 000 m. Wir haben hier extrem hohe Kohlensäurewerte in der Alveolenluft angenommen. Faktisch wird sich in der Höhe die Ventilation stets verstärken, man wird nicht mit 5000 ccm Sauerstoff per Min. auskommen, sondern wird unter dem Reize der Kohlensäure und der Produkte des Sauerstoffmangels erheblich stärker atmen, wenigstens 7000—9000 ccm Sauerstoff per Minute. Dann aber mindert sich die Kohlensäuretension in den Lungenalveolen, und man kann dementsprechend mit der Möglichkeit noch in größeren Höhen ausreichend mit Sauerstoff versorgt zu sein, rechnen. Wenn wir annehmen, daß der Kohlensäuregehalt der Alveolen nicht über den höchsten Wert ansteigt, der in den Versuchen von Durig und seinen Mitarbeitern beobachtet wurde, das sind 36 mm, dann würden wir für die gesamte Gasspannung in den Lungenalveolen haben:

---

[1]) G. Franchini und L. Preti, Über Hautatmung III. Bioch. Zeitschrift 9, S. 442.



36	mm	Kohlensäure,
46	,,	Wasserdampf,
4	,,	Stickstoff,
40	,,	Sauerstoff

126 mm, das entspricht einer Höhe von 14300 m, wohl das Maximum, das bei Atmung möglichst reinen Sauerstoffs im Ballon erreicht werden kann.

Bei den vorstehenden Rechnungen ist aber stets vorausgesetzt worden, daß der schädliche Raum nicht mehr als 140 ccm betrage. Wenn wir statt des Mundstücks die vorher besprochene Maske benutzen, wird aber der schädliche Raum wesentlich größer. Will man unter diesen Umständen die erreichbare Höhe berechnen, so muß man den Inhalt der Maske dem durch den Bau der Atemwege gegebenen schädlichen Raum von 140 ccm addieren und wird nunmehr, namentlich bei solchen Personen, welche gewohnheitsmäßig nicht sehr tief atmen, die Höhengrenze wesentlich niedriger finden. Wir wollen die Rechnung durchführen für eine Maske von 150 ccm Inhalt.

Der gesamte schädliche Raum beträgt nun 290 ccm, der Unterschied im Kohlensäuregehalt der Exspirationsluft und der Alveolenluft wird ein sehr erheblicher. Die hohe Kohlensäurespannung in den Alveolen führt dann naturgemäß zu einer verstärkten Lungenventilation, was wiederum eine Vergrößerung des Sauerstoffverbrauchs bedeutet. Wir werden bei Anwendung einer derartigen Maske sicher niemals weniger als 8 Liter in der Minute atmen, wahrscheinlich noch erheblich größere Luftmengen. Bei einer Atemtiefe von 500 ccm würden also 16 Atemzüge gemacht werden, wobei 16 mal 290 = 4640 ccm Luft auf den schädlichen Raum und 3360 auf die Lungenalveolen kommen. Eine Minutenmenge von 250 ccm, oder auf Körpertemperatur reduziert von 285 ccm Kohlensäure würde auf diese 3360 ccm verteilt, einen Prozentgehalt von 8,49 oder einen Partialdruck von 64,5 mm ausmachen. Wir haben nun als Grenzwerte der zulässigen Gesamtspannung 64,5 + 46 + 40 + 4 = 154,5 mm = 12 705 m Höhe. Es beschränkt also die Maske durch den unvermeidlichen schädlichen Raum die erreichbare Höhe nicht unerheblich, und man wird bei dem Bestreben, einen Höhenrekord zu erreichen, die Unbequemlichkeit der Mundstückatmung in den Kauf nehmen müssen.

Man wird aus dem vorher Gesagten erkennen, wie sorgfältig alle Einzelheiten des Atemapparats und der Sauerstoffzufuhr geprüft sein müssen, wenn man ohne Lebensgefahr die Höhengrenze von 12 000 m übersteigen will. Es dürfte sich am meisten empfehlen, in solchen Fällen vorher die ganze Apparatur in einer Luftkammer, in welcher man durch Maschinenkraft entsprechende Verdünnungen herstellt, zu prüfen. Derartige Luftkammern befinden sich im sogenannten pneumatischen Kabinett des Berliner jüdischen Krankenhauses und wurden hier von Berson, Süring und von Schrötter vor Antritt ihrer Höhenfahrten benutzt. Leider reicht die Kraft der Luftpumpen hier nicht aus, um Verdünnungen bis zu 126 mm, wie wir sie als theoretisch möglich bei Mundstückatmung berechnet haben, zu erzielen. Ob andere ähnliche Einrichtungen, wie die des Physiologischen Instituts in Turin und die des Lister Instituts in London, so weitgehende Verdünnungen ermöglichen, ist mir nicht genau bekannt.

Ich sagte schon vorher, daß sehr genaue Prüfungen des Sauerstoffs auf seine Reinheit notwendig sind. Diese Prüfung sollte sich aber nicht nur auf den beigemengten Stickstoff beziehen, vielmehr mit besonderer Sorgfalt noch darauf, ob etwa Spuren von Kohlenoxyd dem Sauerstoff beigemengt sind. Ich habe vor Jahren einmal eine Sauerstoffbombe in Händen gehabt, in deren Luft sich über $^1/_{10}$ % Kohlenoxyd befand. Ein solcher Sauerstoff würde ja, wenn wir ihn auf der Erde atmen, keine merklichen Gesundheitsstörungen herbeiführen, denn, da die Affinität des Kohlenoxyds zum Hämoglobin 150 mal größer ist als die des Sauerstoffs, würde bei Einatmung dieses Gasgemisches, da ja die Spannung des Sauerstoffs bei 95 % Gehalt 950 mal größer wäre als die von 0,10 % Kohlenoxyd, höchstens $^1/_6$ des ganzen Hämoglobin durch Kohlenoxyd in Beschlag genommen werden. Das bedeutet, wie gesagt, auf der Erdoberfläche keine Lebensgefahr, würde aber die erreichbare Höhe im Ballon ganz enorm herabdrücken, resp. würde in einer Höhe, in welcher bei Atmung reinen Sauerstoffs noch gar keine Gefahr droht, schwere Erscheinungen von Sauerstoffmangel, vielleicht den Tod herbeiführen.

Es ist noch eine andere Methode der Sauerstoffatmung als Ersatz der schweren und dadurch die Steigkraft des Ballons beeinträchtigenden Bomben vorgeschlagen worden. Cailletet, der berühmte Entdecker der Verflüssigung der Luft, hat vorgeschlagen, flüssigen Sauerstoff in Dewarschen Flaschen mit in die Höhe zu nehmen und den sich in diesen Flaschen ständig entwickelnden Sauerstoff zu atmen. Der Vorschlag wurde dann noch etwas vereinfacht durch Erdmann, welcher flüssigen Sauerstoff einfach in Kautschukbeuteln den Luftschiffern mitgab. Ich selbst hatte Gelegenheit, der Vorbereitung einer Hochfahrt von v. Schrötter beizuwohnen, für welche ein Sauerstoffvorrat in dieser Form mitgenommen wurde. Die Schwierigkeit dieser Art der Sauerstoffversorgung liegt darin, daß man die Verdampfung des flüssigen Sauerstoffs schwer regeln kann. Infolge der stetig abnehmenden Temperatur in größeren Höhen ist die Gefahr vorhanden, daß die Verdampfung des Sauerstoffs um so mehr abnimmt, je höher man kommt, je größer das Bedürfnis nach reinem Sauerstoff ist. Da die Verdampfung des reinen Sauerstoffs niemals so fein zu regeln ist wie etwa das Ausströmen des Gases aus dem Ventil der Flasche, wird man immer in die Notwendigkeit versetzt sein, der Luft Zutritt zu dem Sauerstoffreservoir zu gewähren. Man wird also in sehr wechselndem Maße mit atmosphärischer Luft, d. h. mit Stickstoff verdünnte Sauerstoffmischungen einatmen. Infolgedessen ist die Höhe, welche man erreichen kann, garnicht im voraus zu berechnen. Denkbar wäre es, die Methode etwa dadurch zu vervollkommnen, daß man eine regulierbare Heizung des mit flüssigen Sauerstoff gefüllten Gefäßes vorsieht. Eine solche Heizung könnte ungefährlich etwa auf thermo-elektrischem Wege erfolgen, indem man in dem Sauerstoffbehälter eine Widerstandsspirale anbrächte, durch die man einen dosierbaren Strom aus Akkumulatoren hindurchleitet. Es müßte dann das Sauerstoffreservoir mit einem größeren Kautschukbeutel, in dem sich das Sauerstoffgas ansammelt und aus welchem die Atmung erfolgt, verbunden sein. Durch Regulation der Heizung wäre dafür zu sorgen, daß der Kautschukbeutel stets ausreichend mit Sauerstoffgas gefüllt wäre. Einstweilen möchte ich glauben, daß die ständige Aufmerksamkeit, welche die Regulation der Verdampfung des Sauerstoffs erfordert, mit der geringen Ersparnis an Gewicht zu teuer erkauft wäre. Die zur Lieferung

der nötigen Wärme mitzunehmenden Akkumulatoren würden nicht sehr viel weniger wiegen als die Sauerstoffbomben.

Etwas aussichtsreicher dürfte eine andre, in neuerer Zeit mehrfach benutzte Methode der Gewinnung reinen Sauerstoffs sein. Bekanntlich benutzt man jetzt vielfach in Rettungsapparaten für das Betreten von Räumen mit irrespirabler Luft Vorrichtungen, in welchen der Sauerstoff aus Superoxyden durch Einwirkung von Wasser erzeugt wird. Man hat zu diesem Behufe das Natriumsuperoxyd unter dem Namen Oxylith in handliche Würfel geformt, von denen jeder eine genau bestimmte Quantität Sauerstoff entwickelt, wenn er in Wasser gelöst wird. Dr. Douglas benutzte auf unserer Teneriffa-Expedition derartige Oxylithwürfel, um in einem größeren Kautschukbeutel Sauerstoff zu Atemversuchen zu entwickeln. Die Methode hat den Vorzug, daß aus dem Oxylith während der Entwicklung des Sauerstoffs eine Lösung von Natriumhydroxyd gebildet wird, welche die ausgeatmete Kohlensäure absorbiert. Infolgedessen kann man, wenn man an dem Sack hin und her atmet, den darin enthaltenen Sauerstoffvorrat zum größeren Teil verbrauchen. Man kommt also mit einer relativ geringen Sauerstoffmenge längere Zeit aus. Wenn man z. B., wie dies bei den Versuchen von Douglas geschah, in einem entsprechend großen Kautschukbeutel etwa 6 Liter reinen Sauerstoff entwickelt, so kann man, ehe durch den vom Körper ausgeatmeten Stickstoff eine zu erhebliche Abnahme der Sauerstoffdichte im Sack erfolgt ist, immerhin $^2/_3$ des Vorrats, d. h. etwa 4 Liter veratmen, ohne daß eine Störung in der Atemmechanik sich bemerkbar macht, d. h. man würde mit den 6 Litern Sauerstoff etwa 10 Minuten lang auskommen, während man bei Benutzung von Bomben oder von flüssigem Sauerstoff diese Quantität in einer Minute verbrauchen würde. Es erscheint also sehr wohl denkbar, die Oxylithmethode derart auszubilden, daß sie für die Ballonfahrten in sehr großen Höhen brauchbar wäre. Man müßte nur für eine sehr bequeme Unterbringung des Oxylithvorrats, resp. für eine größere Anzahl vorher für Atmung vorbereiteter Kautschuksäcke Sorge tragen. Ein Bedenken sehe ich nur in der sehr niedrigen Temperatur der großen Höhen. Wasser könnte man natürlich nicht ohne weiteres benutzen, es fragt sich, ob eine sehr niedrig gefrierende Salzlösung, etwa eine konzentrierte Chlorcalciumlösung für die Entwicklung des Oxyliths brauchbar wäre.

Um jene Höhengrenze zu überfliegen, bei der auch die Atmung reinen Sauerstoffs das Leben des Menschen nicht mehr möglich macht, hat v. Schroetter die Einrichtung eines luftdichten Gehäuses vorgeschlagen in welchem sich die Beobachter befinden. Die Wandungen dieses Kastens müßten stark genug sein, um einen Überdruck von 50—100 m Hg im Innern zu gestatten, dann wäre es allerdings möglich, so hoch vorzudringen, wie es die Tragkraft eines Riesenballons nur irgend gestattet. Die Verwirklichung dieses Projekts wird davon abhängen, ob physikalische oder meterorologische Probleme von genügender Bedeutung vorliegen, um die Riesenkosten und die immerhin nicht zu unterschätzende Gefahr für das Leben des Fahrers zu rechtfertigen. Angesichts der Erfolge der unbemannten Registrierballone erscheint es immerhin zweifelhaft, ob diese Frage zu bejahen ist. — Ein Problem, das durch die jüngsten Ansichten über die mit der Höhe zunehmende Anhäufung der spezifisch leichteren Gase in unserer Atmosphäre aktuell geworden ist, die Erforschung der chemischen Zusammensetzung der



Atmosphäre in extremen Höhen, läßt sich wohl auch mit Hilfe der unbemannten Ballone lösen.

Der Zweck dieses Schriftchens wäre erreicht, wenn es mir gelungen wäre, durch schärfere Charakterisierung der physiologischen Vorgänge, welche für den Luftschiffer und den Flieger bedeutungsvoll sind, die Selbstbeobachtung anzuregen und zur Verminderung der Gefahren mitzuhelfen. Vielleicht bin ich stellenweise etwas mehr in physiologische Einzelheiten eingegangen, als zur Information des Technikers nötig erscheint — aber gerade das genauere Studium der Art, wie sich die Regulationen in unserem Körper vollziehen, dürfte geeignet sein, zum Einleben in diese Probleme anzuregen.

Druck der Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke) in Berlin und Bernau.


89090515537
b89090515537a

